

NetMetrics: um software para auxiliar o conhecimento em Redes Complexas

Samuel O. S. Bianch^{1,2}, Tiago de A. Lacerda³, Vinicius da F. Vieira¹, João G. R. Silva⁴

¹Universidade Federal de São João del-Rei (UFSJ) - Departamento de Computação
Rodovia BR-494, Vila São Paulo - CEP: 36301-360 - São João del-Rei/MG - Brasil

²Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT) - Secretaria de Tecnologia da Informação
Av. Fernando Corrêa da Costa, nº 2367 Bairro Boa Esperança - Cuiabá - MT - Brasil

³Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso (IFMT)
Rua Zulmira Canavarros, 95, Centro, Cuiabá - MT - Brasil

⁴Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Brasília (IFB)
Área Especial 2, s/n - São Bartolomeu (São Sebastião), Brasília - DF

samuelbianch38@gmail.com, tiago.lacerda@ifmt.edu.br,

vinicius@ufs.j.edu.br, joao.gabriel@ifb.edu.br

Resumo. *Redes Complexas têm sido amplamente utilizadas com sucesso como modelos para representação de sistemas complexos, formados por muitos componentes que interagem entre si. A ciência de redes, que tem como foco central o estudo de problemas modelados como redes complexas, é uma área do conhecimento transversal a diversas outras, como ciência da computação, matemática, estatística e ciências sociais. Além disso, redes sociais têm aplicação em diferentes áreas, como biologia, economia, sociologia e telecomunicação, apenas para citar algumas. Redes Complexas são, atualmente, tema de disciplinas em cursos variados, incluindo Ciência da Computação, em diferentes instituições, e seu ensino tem se mostrado bastante desafiador. Este trabalho apresenta o NetMetrics, um recurso educacional, por meio de um software com interface WEB pública e de livre acesso, para auxiliar professores, estudantes e pesquisadores nas aplicações dos conceitos de redes complexas. Em contraste com outros sistemas encontrados na literatura, esta solução é disponibilizada de forma on-line e demanda baixo custo computacional no lado cliente da aplicação. Da forma como foi projetada e desenvolvida, a plataforma permite desenvolvimento contínuo, possibilitando adequações e melhorias propostas pelos usuários de forma conveniente a cada contexto.*

Abstract. *Complex networks have been widely and successfully used as models for representing complex systems, formed by many components that interact among each other. Network science, which focuses on the study of problems modeled as complex networks, is a knowledge area which is transversal to many others, such as computer science, mathematics, statistics, and social sciences. Furthermore, social networks have applications in different areas, such as biology, economics, sociology, and telecommunications, to name a few. Complex Networks are, currently, subject of disciplines in various courses, including Computer Science, in many institutions, and their teaching has proven*

to be quite challenging. This work presents NetMetrics, a computational resource, through a software with a public and freely available WEB interface, to assist teachers, students and researchers in the application of complex networks concepts. In contrast to other systems found in the literature, this solution is available online and requires low computational cost on the client side of the application. As it was designed and developed, the platform allows continuous development, enabling adaptations and improvements proposed by users in a convenient way for each context.

1. Introdução

O desenvolvimento de ferramentas de Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC) proporciona diversas soluções que automatizam e contribuem para vários processos de ensino e aprendizagem. Esses artefatos auxiliam e apoiam diversos educadores e a construção desses sistemas que amparam o conhecimento adquirido por estudantes é uma área explorada por educadores no Brasil [Leite 2021, Menegais et al. 2022]. Entender como essas tecnologias digitais podem influenciar positivamente o processo de ensino-aprendizagem dos alunos tende a ser uma tarefa oportuna e proveitosa. Na literatura, encontram-se diferentes ferramentas em diversas áreas que apresentaram sistemas ou técnicas inovadoras, nas quais o principal objetivo era auxiliar no desenvolvimento do conhecimento adquirido pelos alunos acerca de um conteúdo específico abordado [Abreu et al. 2023, Ribeiro 2023].

Sabe-se que, no processo pedagógico, algumas disciplinas, especialmente aquelas que pertencem aos componentes curriculares que envolvem conceitos ligados à matemática, apresentam um alto grau de complexidade no processo de ensino-aprendizagem e, por isso, merecem uma atenção especial, como já abordado em edições anteriores do Educomp [Hryniewicz et al. 2024]. Nesse sentido, a disciplina de Teoria dos Grafos, dentro das Ciências Exatas e da Terra, é frequentemente lecionada nos principais cursos de Ciência da Computação e outros da área de computação e tecnologias, podendo ser caracterizada como uma subárea da matemática aplicada. O conteúdo frequentemente abordado nessa disciplina envolve modelos reconhecidos pela caracterização por propriedades diversas e aplicabilidade diversa. Assim, essa disciplina pode necessitar de abordagens metodológicas de ensino variadas para sua melhor compreensão ou mesmo que o contato pelos estudantes se dê de uma forma mais antecipada, ainda na matriz curricular de cursos da educação básica, no Ensino Médio, como é possível encontrar em propostas na literatura [Aguíar and de Araújo 2021].

Embora discentes de cursos relacionados a computação e tecnologias, mesmo que por razões muitas vezes circunstanciais, possam possuir uma relativa afinidade ao uso de máquinas e suas funcionalidades, abordar no computador conteúdos vistos em sala de aula é uma forma de sintetizar as práticas pedagógicas de forma mais concreta e intuitiva. Portanto, essas abordagens que desafiam uma percepção e aprendizado nesse sistema computacional fazem com que o indivíduo viabilize o pensamento cognitivo, o desenvolvimento de seu pensamento hipotético-dedutivo, a criatividade, a dedução, entre outras [Guimarães et al. 1987]. Com base nisso, propor ferramentas de TICs pode ser um solucionador de problemas no processo de ensino-aprendizagem, uma vez que, no processo de ensino com um *software* algumas áreas específicas do cérebro humano são ativadas [da Silva Júnior et al. 2024].

Uma área explorada como aplicação de Teoria dos Grafos pode ser encontrada na Ciência de Redes [Barabási and Pósfai 2016, Newman 2010], que tem como objeto central de estudo as redes complexas, que representam as interações em sistemas complexos, com aplicações em diversos contextos, como sociologia, biologia e economia [Yadav et al. 2025]. Contudo, pode-se observar uma lacuna na literatura em relação a ferramentas públicas e abertas que possam agir no papel de auxílio no processo de ensino-aprendizagem de conceitos, técnicas e aplicações que envolvam redes complexas, mesmo que ferramentas dessa natureza possam ser encontradas para aplicações em outras áreas do conhecimento [de Melo Mesquita et al. 2021]. Visando preencher essa carência, este trabalho tem como pretensão apresentar um sistema de auxílio em ensino e pesquisa relacionados com redes complexas público e de livre acesso, o *NetMetrics*¹, que tem por objetivos tanto auxiliar nos estudos de redes complexas, quanto ser um amparo a pesquisadores que não possuem uma experiência tão grande com aplicações baseadas em conceitos e algoritmos relacionados a redes complexas, mas desejam tirar proveito das oportunidades trazidas pela modelagem de sistemas complexos como redes nos mais variados domínios. Vale ressaltar que o sistema possui seu código-fonte aberto e está hospedado em um endereço público temporário para preservar a anonimidade de sua autoria.

Nesse contexto, estudantes e pesquisadores podem ser apresentados a técnicas de modelagem computacional, visando sua aplicação a sistemas complexos, para posteriormente usarem as propriedades e funcionalidades desenvolvidas no contexto do sistema. Com isso, pretende-se fomentar ideias e conceitos relacionados a redes complexas, submetendo estudantes e pesquisadores a aplicações que envolvem diretamente a aplicação de conceitos matemáticos avançados, mas sem necessariamente sobrecarregá-los com cálculos extremamente complexos.

Alternativamente, conceitos e razões pelas quais cada resultado é gerado pelo sistema são apresentados com um enfoque prático, contextualizando com a aplicação que os estudantes e pesquisadores já estão mais habituados e familiarizados. Em face disso, os acadêmicos seriam expostos a algumas técnicas de modelagem de sistemas ou interações reais, despertando potencialmente uma maior curiosidade nos indivíduos, que podem gerar questionamentos do tipo: “por que devemos representar relações reais por meio de abstrações?” Embora questões desse tipo possam parecer triviais, não devem ser aceitas de forma simples sem serem debatidas. “A vantagem de se modelar sistemas complexos como grafos é que o problema se torna relativamente simples e mais tratável” [Mata 2020]. Isso é reafirmado em vários trabalhos na literatura, a partir dos quais pode-se afirmar diversos aspectos que, tratados de forma computacional com redes complexas, representam a semelhança/igualdade com o mundo real [Sun et al. 2020, Gul et al. 2021, Bianch and Silva 2021, dos Santos et al. 2023].

Além disso, realizar análises de grafos e redes complexas tende a ser uma tarefa que exige um custo computacional extremamente alto, visto que os cálculos, muitas vezes, envolvem algoritmos de complexidade computacional que crescem de maneira exponencial. Sendo assim, é bastante inviável aplicar estudos em redes com muitos vértices e arestas em ambientes de *hardware* utilizados em computadores pessoais. Portanto, pretende-se com essa ferramenta, disponibilizar um ambiente de poder computacional superior ao de computadores pessoais mais simples, em que os recursos computacionais sejam cen-

¹Disponível em: <http://200.129.251.100/>

tralizados e disponíveis de forma gratuita, a fim de fortalecer e fomentar cada vez mais a ciência e a difusão de conhecimentos relacionados ao tema central da ferramenta.

Em face do exposto, nesse artigo aborda-se uma ferramenta que deve ser utilizada tanto no ensino quanto na pesquisa que envolvem redes complexas, portanto é de suma importância sumarizar alguns conceitos que foram levantados para o desenvolvimento dessa ferramenta. Diante disso, esta pesquisa está estruturada da seguinte maneira: a Seção 1 apresenta a Introdução, abordando uma visão inicial acerca do problema e a ferramenta; a Seção 2 apresenta os principais conceitos e aplicações relacionados à Teoria dos Grafos e Redes Complexas; a Seção 3 apresenta uma série de trabalhos relacionados, apresentando ferramentas que visam facilitar o processo de ensino-aprendizagem; na Seção 4, é apresentado o produto de *software* que visa solucionar o problema levantado nesse artigo; e, por fim, na Seção 5 são apresentadas conclusões, que levantam as principais dificuldades envolvidas na construção do *NetMetrics* e trabalhos futuros que podem ser explorados.

2. Teoria dos Grafos e Redes Complexas

Por definição, um grafo pode ser matematicamente descrito como $G = (V, E)$, sendo uma estrutura composta por vértices $v_i \in V$, tal que $|V| = n$ e arestas $(v_i, v_j) \in E$, tal que $v_i, v_j \in V$ e $|E| = m$. As definições mais elementares acerca dessa ciência estão expostas em [Zhang and Chartrand 2006]. Essa estrutura pode ser simples o suficiente, com poucos vértices e arestas, a ponto de tornar viável sua investigação visual, mas também pode ser extremamente complexa para a visualização humana, ao ponto de que, quando esse sistema cresce, é inimaginável fazer análises em grafos sem o auxílio de recursos computacionais.

As redes complexas, por sua vez, pertencem a uma subárea da ciência dos grafos, na qual estuda-se, essencialmente, as interações entre os vértices e arestas a partir de diversas propriedades fornecidas. Nessa representação como um grafo, normalmente um vértice é modelado como um objeto qualquer e as arestas representam algum tipo de interação entre os objetos. Essas arestas podem ser não-direcionadas, quando há simetria entre as relações entre v_i e v_j , ou seja $(v_i, v_j) = (v_j, v_i)$, ou direcionadas, quando não há simetria, ou seja $(v_i, v_j) \neq (v_j, v_i)$ [Strogatz 2001]. Na figura 1 é possível observar alguns conceitos de redes complexas; um exemplo é a reciprocidade, que é compreendida como a interação entre dois vértices nos dois sentidos em uma rede direcionada. Este conceito é muito conhecido em redes sociais, quando duas pessoas se conhecem e, consequentemente, acabam criando essa interação. De modo semelhante, observa-se o conceito de comunidades, que é conhecido como a clusterização da rede, conceito no qual um conjunto de vértices possui uma densidade maior comparada aos demais elementos da rede.

Esse tipo de abstração de um modelo real é muito explorada em redes sociais, redes de interação animal e social, além de outras aplicações [Aguilar et al. 2023]. Por meio desses modelos, pode-se inferir diversas características que estão intrínsecas na rede. Um exemplo simples e intuitivo pode surgir a partir da observação de uma rede social, com o questionamento: *o vértice que possui um maior número de arestas representa o usuário mais relevante da rede e pode, por consequência, disseminar uma notícia falsa de modo mais eficiente?*. Esse tipo de questionamento pode ser melhor respondido por meio do estudo de medidas de centralidade de vértices, que calcula a partir de diferentes perspectivas, os vértices mais importantes do ponto de vista topológico e, por isso, têm

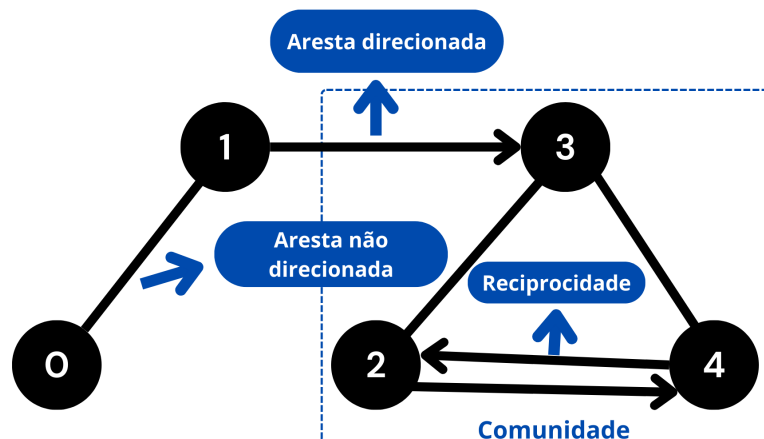


Figura 1. Infográfico de conceptos básicos de redes complejas

grande potencial para serem bons influenciadores.

3. Trabalhos Relacionados

Na literatura estão dispostos alguns trabalhos que visam buscar recursos educacionais mais eficientes aplicando um *software* para o ensino de um tópico da matemática, computação ou até mesmo pesquisando quais são as ferramentas educacionais que os professores estão usando para essa ciência. Acerca do ensino da Teoria dos Grafos em um ambiente da engenharia, encontra-se o trabalho proposto por [Sabra and Tabchi 2024], no qual verificou-se quais são as ferramentas e recursos educacionais que os professores de uma escola de engenharia francesa utilizavam no ensino dos conceitos e aplicações de grafos. Nesse estudo, os pesquisadores concluem que o principal ponto em que a conexão entre a matemática e computação se encontra é no desenvolvimento da teoria, aplicando-a de forma prática, com os conceitos de modelagem de problemas reais com os grafos.

De forma semelhante, um sistema muito utilizado pelos educadores é o *Cytoscape*, um programa de computador que deve ser instalado localmente, e possui várias soluções para quem deseja fazer análises em grafos [Shannon et al. 2003]. Com um *layout* robusto e otimizado, ele tem sido a plataforma mais utilizada nos últimos anos para pesquisas nessa área. Vale ainda destacar que, para pessoas que não possuem um conhecimento elevado na área de grafos, ele se torna uma ferramenta de difícil entendimento, visto que não possui um nível de usabilidade tão intuitivo para o uso de suas funcionalidades.

Na mesma linha do *Cytoscape*, encontra-se na literatura o *A-Graph*, que é definido pelos seus autores como: “um programa de edição de grafos tanto dirigidos quanto não dirigidos” [Lozada 2014]. Esse sistema possui como principais atributos a busca em grafos utilizando os algoritmos de busca em largura e busca em profundidade, assim como uma visualização das matrizes de adjacência de cada grafo. No trabalho que descreve o software, é relatado que o sistema é de código aberto; entretanto, na obra não há nenhuma referência ao repositório ou como seria possível fazer o *download* da ferramenta, já que é uma aplicação *stand-alone*, ou seja, autônoma.

Outro sistema relevante e que é importante mencionar é o *Gephi*, que é definido pelos seus autores como: “o software líder de visualização e exploração para todos os

tipos de grafos e redes” [Bastian et al. 2009]. Esse sistema possui seu código-fonte aberto e, com isso, tem uma atividade relevante e democrática da comunidade, com contribuições de requisições de novas funcionalidades e implementações de quaisquer usuários. De modo análogo ao *Cytoscape*, o sistema roda localmente por uma máquina virtual Java, fazendo com que o processamento das análises dos grafos e redes seja executado com um *hardware* local, o que pode limitar as análises à medida que quem irá utilizar o sistema deve ter disponível uma capacidade computacional de *hardware* avançada.

Além desses sistemas, é possível citar uma biblioteca na linguagem de programação *Python* muito difundida entre cientistas da computação para a manipulação de grafos, a *NetworkX*, que fornece diversas funcionalidades para implementação de soluções usando esta biblioteca [Hagberg et al. 2008]. Uma questão relevante da *NetworkX*, que merece ser abordada, é justamente o fato de que para usar essa ferramenta é necessário ter um conhecimento elevado em programação e na linguagem de programação *Python*, visto que é uma biblioteca de software e, como tal, seu funcionamento prescinde, além de sua instalação, a escrita de alguns códigos computacionais para a investigação das propriedades de estudo das redes complexas.

4. Recurso Educacional: O NetMetrics

Esta seção apresenta os principais atributos e funcionalidades do sistema desenvolvido para auxiliar no aprendizado e em pesquisas com redes complexas, o *NetMetrics*, principal objeto de estudo deste trabalho, assim como algumas discussões relevantes sobre a abordagem utilizada. Trata-se, como já mencionado, de um sistema *WEB* que foi desenvolvido por estes autores, principalmente para ser usado em *notebooks* e computadores pessoais, tornando-o acessível de qualquer aparelho que esteja conectado à *internet*, por qualquer pessoa com um conhecimento básico sobre a utilização de recursos computacionais. Uma representação das ferramentas e infraestrutura do sistema pode ser visualizada na Figura 2, que representa a aplicação principalmente desenvolvida em *Python*, usando o *framework WEB Django* e outras tecnologias, que podem ser melhor especificadas em [Bianch et al. 2024].

Além disso, na Figura 2 é possível perceber na infraestrutura do projeto uma implantação com a ferramenta de containerização *Docker*, que facilita a implantação do ambiente em qualquer configuração de *hardware* e sistema operacional possível. Isso faz com que o desenvolvimento e a aplicação do sistema se tornem uma tarefa bem mais simples, visando parcerias com outras instituições ou outros grupos de pesquisa para o desenvolvimento da ferramenta. Para que isso seja possível, criou-se um repositório² público que armazena o código-fonte do projeto.

Na Figura 2 é possível perceber que a aplicação possui por baixo dos panos uma *API Rest*, assim como o uso do SGBD *PostgreSQL*. Para as demandas dos grafos, optou-se pelo uso da biblioteca *Igraph* e, por fim, no quesito de gráficos de pizza e demais estilos de demonstração de dados, escolheu-se uma biblioteca externa, na qual seu acesso ocorre via *internet*, a *Plotly*.

Partindo agora para a interface gráfica do usuário, pensando em atrair um público de usuários que não possua, necessariamente, um conhecimento elevado sobre as propriedades de grafos e redes complexas, a Figura 3 apresenta a página inicial do sistema. Essa

²Disponível em: <https://github.com/samuelbianch/NetMetrics>

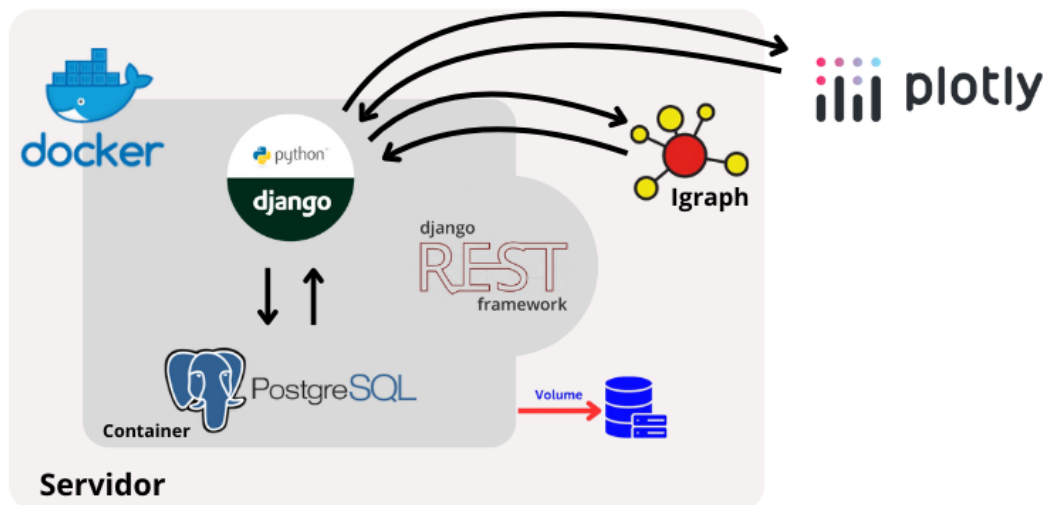


Figura 2. *Bigpicture* do sistema.

será a primeira impressão do usuário quando acessar a aplicação. Nela, pode-se observar a chamada para o principal objetivo desse artefato: “Faça pesquisas utilizando redes complexas”, assim como o *slogan*: “Você não precisa reinventar a roda!”, que remete ao fato de que os usuários não possuem a necessidade de programar códigos ou programas que já foram escritos para observar as propriedades dessa área.

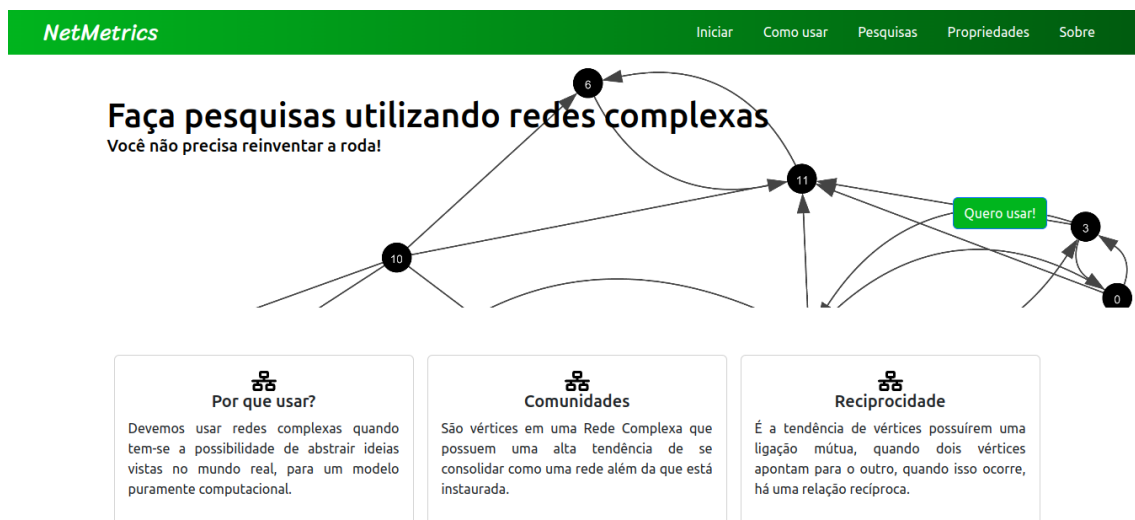


Figura 3. Página inicial do sistema.

A página *WEB* ilustrada na Figura 3 oferece, além dessas chamadas para o principal objetivo do sistema, ainda uma breve explicação sobre algumas propriedades muito utilizadas em grafos e redes complexas, assim como as principais motivações para a utilização dessa ferramenta. De modo semelhante, é possível observar o menu de navegação da ferramenta, que traz algumas chamadas como “Iniciar”, que vai direto à plotagem das redes, “Como usar”, que leva o usuário a um tutorial da ferramenta, “Pesquisas”, que é alimentado pelos administradores do sistema e possui o papel de publicar

os trabalhos que foram frutos deste sistema, “Propriedades”, que aborda os principais tópicos de grafos e redes complexas e “Sobre”, que apresenta algumas informações a respeito do desenvolvimento da ferramenta.

Em face do objetivo principal do sistema, que é facilitar estudos e pesquisas envolvendo grafos por meio das propriedades de redes complexas, na Figura 4 observa-se como é feita a entrada de dados que os usuários devem fornecer. Acerca do fluxo, o usuário envia um arquivo de texto (.txt) contendo uma lista de arestas que representa o grafo que modela uma rede complexa. Posteriormente, ele deve marcar três *checkboxes* (i) se a rede é direcionada, (ii) se ele pretende gerar as comunidades da rede e, por fim, (iii) se quer que cada vértice da rede seja pontuado por uma centralidade. Feito isso, se a opção (ii) está habilitada, ele deve então selecionar qual é o algoritmo de identificação de comunidades pretende usar; caso tenha marcado também a opção (iii), de modo semelhante, deve ser escolhido o algoritmo de centralidade pretendido para ranquear os vértices.

Figura 4. Ambiente para a plotagem dos grafos

Por fim, há a plotagem da rede e de todas as opções que foram selecionadas no passo anterior. O resultado de um exemplo de rede complexa pode ser observado na Figura 5, em que são perceptíveis as interações entre os vértices, por meio das arestas, o quantitativo de vértices e arestas, dados de propriedades como: reciprocidade, assortatividade e transitividade média. Através desses dados e conceitos apresentados em um ambiente educacional, é possível que o educando possua uma maior compreensão da teoria aprendida, fazendo com que seu nível de aprendizagem seja estimulado por uma visualização clara e concisa da teoria, na prática.

Por se tratar de um sistema que tem como um de seus objetivos atuar como uma ferramenta de auxílio ao ensino de ciência de redes, algumas de suas funcionalidades visam implementar conceitos e métodos que são frequentemente adotados em aplicações que envolvem a análise de dados modelados como redes. Alguns exemplos são a análise exploratória de propriedades básicas de redes, o cálculo de centralidades topológicas de vértices e a identificação de comunidades baseadas em modularidade. Uma descrição mais completa sobre essas técnicas e métodos não são abordadas no

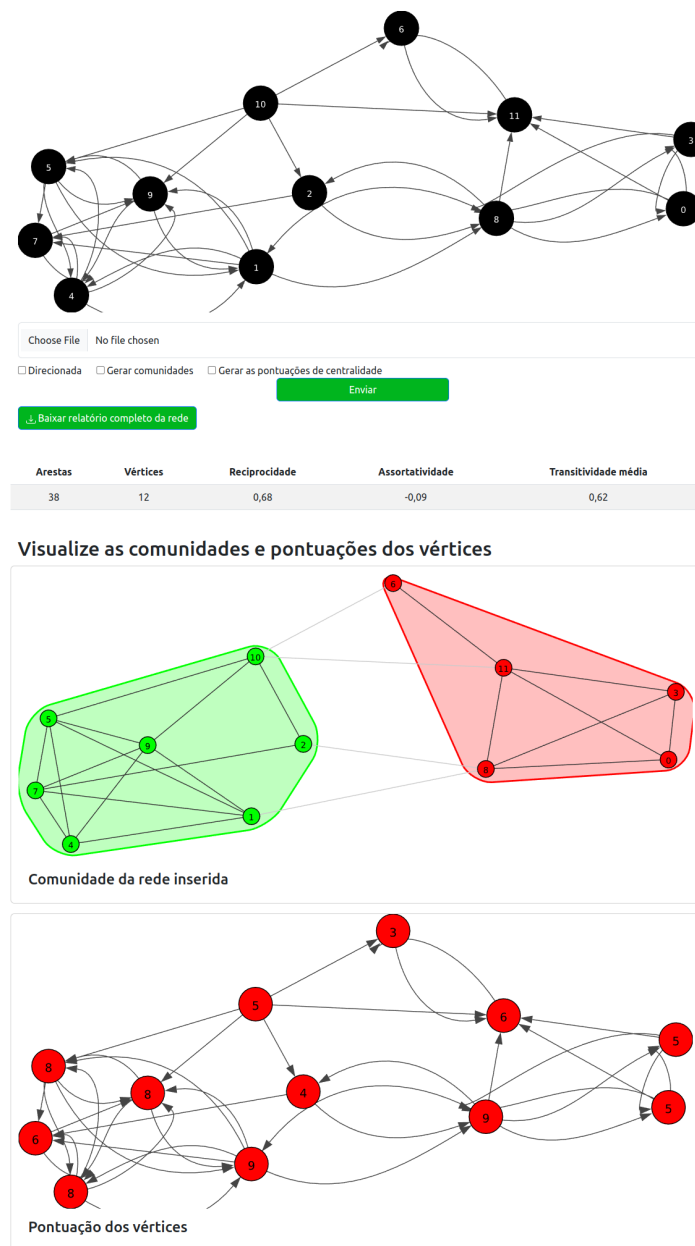


Figura 5. Rede plotada no sistema

presente trabalho, mas podem ser encontradas em alguns livros que tratam do assunto [Newman 2010, Barabási and Pósfai 2016]. A lista a seguir apresenta os principais algoritmos implementados como funcionalidades no *NetMetrics*, assim como algumas funcionalidades relacionadas a tarefas também importantes para uma ferramenta que se propõe a auxiliar o processo de ensino-aprendizagem.

- Importar uma lista de arestas;
- Mostrar o grafo direcionado e não direcionado;
- Detectar as comunidades com os algoritmos: *Betweenness Girvan-Newman*; *Multilevel (Blondel)*; *Infomap*; *FastGreedy*; *Leiden*.
- Detectar a centralidade de cada vértice com os algoritmos: *Grau*; *Betweenness*; *Closeness*.

- Apresentar os dados de propriedades;
- Gerar relatório em *PDF* da análise da Rede Complexa;
- Publicar pesquisas feitas com a ferramenta.

Sendo assim, a partir de redes modeladas por qualquer educando, educador ou pesquisador, o sistema levanta diversas informações sobre a rede complexa. Isso posto, não é necessária nenhuma implementação de código ou entendimento de programação para fazer com que a ferramenta seja utilizada. Entretanto, é desejável que haja uma pequena introdução sobre os algoritmos que são escolhidos pelos autores da ação, visto o fato de que em seus estudos, eles devem aprender com o sistema e, de forma interativa, entrar com dados e aprender com eles.

Portanto, é fortemente recomendável que, para que o ensino de grafos com redes complexas seja efetuado de forma em que o educando conecte os aspectos teóricos aos práticos, ocorra uma interação entre os conteúdos de centralidade, comunidades, interação entre vértices, assortatividade, dentre outros, aplicados em uma forma visual e interativa. Com isso, pode-se inferir que o educando deve adquirir um conhecimento maior sobre esses conteúdos, já que teria o contato com a aplicação desses métodos, nos gráficos e figuras gerados pelo *NetMetrics*.

Além disso, conforme abordado na introdução deste trabalho, o custo computacional para gerar as informações a partir de redes complexas tende a ser relativamente alto, de acordo com o tamanho da rede. Sendo assim, há um alto custo quando as redes possuem mais de milhares de vértices e arestas, fazendo com que seja quase impossível a análise em máquinas pessoais. Isso posto, o *NetMetrics* faz com que os recursos computacionais sejam centralizados em um só local, disponibilizando o poder computacional para qualquer usuário que queira utilizá-lo.

5. Conclusão

Neste trabalho foi apresentado o desenvolvimento de um recurso educacional nomeado como *NetMetrics*, que auxilia educadores e pesquisadores com o manejo de dados de redes complexas modeladas em grafos. Esse sistema ajudaria educadores com a aplicação de conteúdos teóricos vistos em sala de aula, sendo aplicados de forma prática em modelos reais ou simulados. Assim como, torna-se uma ferramenta usual para pesquisadores obterem propriedades e informações sobre redes complexas.

O recurso educacional, assim como grande parte dos softwares, encontra-se em processo de evolução, porém é possível observar grande potencial em sua aquisição, pois foi apresentado durante este trabalho algumas dificuldades na transmissão do conhecimento de conteúdos de matemática nos cursos de computação e até mesmo de matemática. Dito isso, a ferramenta ataca essa barreira, a fim de fortalecer cada vez mais o conhecimento dos alunos. Sobre as dificuldades, cabe ressaltar a disponibilidade de recursos nas instituições públicas para a implantação, visto que o sistema deve estar disposto de um alto desempenho de *hardware*.

Como este trabalho apresenta um projeto que ainda não foi aplicado em nenhum ambiente educacional, pretende-se como trabalhos futuros a aplicação da ferramenta no ensino da disciplina de grafos na universidade, especificamente no curso de Computação e no curso de Matemática. Com isso, é possível levantar diversos dados sobre o desempenho dos alunos e suas vivências com o uso da ferramenta para a compreensão dos

conteúdos ministrados pelo professor de forma teórica, na prática. Isso posto, esse trabalho validaria diversas perspectivas de dificuldades de ensino dessa disciplina abordadas nesta obra.

Além disso, como forma de fomentar essa cultura das redes complexas e a Teoria dos Grafos nos ambientes educacionais de computação, pretende-se também com esta produção capturar parceiros para o desenvolvimento e *feedbacks* de como melhorar as capacidades pedagógicas e de usabilidade que são fornecidas pelo sistema, proporcionando um espaço colaborativo entre as instituições de ensino, que podem enriquecer a obra.

Referências

- Abreu, S. R. d., Moraes, R. M. d., Martins, P. d. N., and Lopes, L. W. (2023). Voxmore: artefato tecnológico para auxiliar a avaliação acústica da voz no processo ensino-aprendizagem e prática clínica. In *CoDAS*, volume 35, page e20220166. SciELO Brasil.
- Aguiar, G. O., Silva, M. A. P., and Silva, J. G. R. (2023). Análise do desempenho dos estudantes na disciplina de programação de computadores utilizando princípios de comunidades em redes complexas. In *Anais do X Encontro Nacional de Computação dos Institutos Federais*, pages 1–4. SBC.
- Aguiar, J. H. A. and de Araújo, F. C. (2021). Teoria dos grafos no ensino médio: um estudo introdutório. *Boletim Cearense de Educação e História da Matemática*, 8(23):242–257.
- Barabási, A.-L. and Pósfai, M. (2016). *Network science*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Bastian, M., Heymann, S., and Jacomy, M. (2009). Gephi: An open source software for exploring and manipulating networks.
- Bianch, S., Lacerda, T., and Silva, J. (2024). Netmetrics: Um software para auxiliar o desenvolvimento de pesquisas que envolvem redes complexas. Último acesso em: 7 de dezembro de 2024.
- Bianch, S. O. S. and Silva, J. G. R. (2021). Modelo para estudo de desempenho acadêmico de estudantes e suas relações de amizade utilizando redes complexas. In *VII CONEDU - Conedu em Casa*.
- da Silva Júnior, S. L., Dias, A. V. D., Gomes, J. C. X., Cossote, D. F., da Cruz, N. A., and França, E. F. (2024). A interface da neurociência, educação e tecnologia: Potencializando a aprendizagem no século xxi. *ARACÊ*, 6(2):1419–1430.
- de Melo Mesquita, J., Mesquita, L. S. F., and da Silva Barroso, M. C. (2021). Softwares educativos aplicados no ensino de química: Recursos didáticos potencializadores no processo de aprendizagem. *Research, Society and Development*, 10(11):e458101115278–e458101115278.
- dos Santos, V. C., Teixeira, N. G., Pereira, K. B. M., Teixeira, P. O., and Silva, J. G. R. (2023). Análise do comportamento social das estudantes nas turmas do curso técnico em informática de uma instituição pública federal de ensino utilizando redes complexas. In *Women in Information Technology (WIT)*, pages 388–393. SBC.

- Guimarães, Â. d. M., Oliveira, C. C. d., Menezes, E. I. M., and Moreira, M. (1987). Produção e avaliação de software educativo. *Educação em Revista*, (06):41–44.
- Gul, H., Amin, A., Adnan, A., and Huang, K. (2021). A systematic analysis of link prediction in complex network. *IEEE Access*, 9:20531–20541.
- Hagberg, A. A., Schult, D. A., and Swart, P. J. (2008). Exploring network structure, dynamics, and function using networkx. In Varoquaux, G., Vaught, T., and Millman, J., editors, *Proceedings of the 7th Python in Science Conference*, pages 11 – 15, Pasadena, CA USA.
- Hryniewicz, B., França, F., Paixão, J., and Moraes, L. (2024). Biblioteca para exemplificação no ensino de Álgebra linear. In *Anais do IV Simpósio Brasileiro de Educação em Computação*, pages 336–345, Porto Alegre, RS, Brasil. SBC.
- Leite, B. S. (2021). Tecnologias digitais e metodologias ativas: quais são conhecidas pelos professores e quais são possíveis na educação? *VIDYA*, 41(1):185–202.
- Lozada, L. A. P. (2014). A-graph: Uma ferramenta computacional de suporte para o ensino-aprendizado da disciplina teoria dos grafos e seus algoritmos. In *Anais dos Workshops do Congresso Brasileiro de Informática na Educação*, volume 3, page 61.
- Mata, A. S. d. (2020). Complex networks: a mini-review. *Brazilian Journal of Physics*, 50:658–672.
- Menegais, D. A. F. N., Ferreira, V. L. D., da Silva Fagundes, D., and Penha, J. T. (2022). A utilização das tecnologias digitais no ensino e aprendizagem de geometria espacial: a percepção dos estudantes do 3 ano do ensino médio. *Cadernos do Aplicação*, 35.
- Newman, M. E. J. (2010). *Networks: an introduction*. Oxford University Press, Oxford; New York.
- Ribeiro, R. L. L. (2023). Quebra-cabeça com funções matemáticas: Uma proposta de ferramenta educacional para o ensino do comportamento de funções matemáticas. *Revista Contemporânea*, 3(5):4370–4391.
- Sabra, H. and Tabchi, T. (2024). Connectivity in resources for teaching graph theory in engineering education. *ZDM–Mathematics Education*, pages 1–15.
- Shannon, P., Markiel, A., Ozier, O., Baliga, N. S., Wang, J. T., Ramage, D., Amin, N., Schwikowski, B., and Ideker, T. (2003). Cytoscape: a software environment for integrated models of biomolecular interaction networks. *Genome research*, 13(11):2498–2504.
- Strogatz, S. H. (2001). Exploring complex networks. *nature*, 410(6825):268–276.
- Sun, X., Wandelt, S., and Zhang, A. (2020). How did covid-19 impact air transportation? a first peek through the lens of complex networks. *Journal of Air Transport Management*, 89:101928.
- Yadav, R. K., Tripathi, S. P., and Rai, A. K. (2025). Finding future associations in complex networks using multiple network features. *The Journal of Supercomputing*, 81(1):36.
- Zhang, P. and Chartrand, G. (2006). Introduction to graph theory. *Tata McGraw-Hill*, 2:2–1.