

Sistemas Multiagente e Jogos de Papéis Aplicados à Gerenciamento de Recursos Naturais *

Vinícius Borges Martins¹, Raquel de Miranda Barbosa², Diana Francisca Adamatti¹

¹Programa de Pós-Graduação em Computação
Universidade Federal do Rio Grande – Rio Grande, RS, Brasil

²Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia
do Rio Grande do Sul – Campus Rio Grande, Rio Grande, RS, Brasil

{vimiciusbormar27, raq.mbarbosa, dianaada}@gmail.com


Abstract. *This paper presents the theoretical basis and the creation of a game (role-playing game) that is going to be used with the Committee of the Mirim Lagoon and of the São Gonçalo Canal (Brazil), where each member will play the role of others members to better understand their actions and to make better decisions to the regional resources. Hence, the game was created physically, where, after every stage, the actions are transferred to be calculated by a JAVA software on a computer, returning the results to the players in printed papers. Further, will be created a graphical interface in the calculation module and the computational version of the game, besides that, will be implemented the smart agents to play randomly with the members of the Committee.*

Resumo. *Este trabalho apresenta o referencial teórico e a criação de um jogo (jogo de papéis) que será utilizado junto ao Comitê Regional da Lagoa Mirim e do Canal São Gonçalo, onde cada membro jogará no papel dos outros membros para melhor entender suas ações e para a melhor tomada de decisão para os recursos da região. Para isso, foi criado um jogo físico, onde, após cada etapa, as ações são transferidas para serem calculados por um programa em JAVA em um computador, retornando os resultados para os jogadores em papéis impressos. Futuramente, será criada uma interface gráfica no motor de cálculos e a versão computacional deste, além de serem implementados agentes inteligentes para jogar em papéis aleatórios com os membros do comitê.*

1. Introdução

O aumento de poluição no mundo, devido ao aumento de veículos, de lixo e de produtos químicos na agricultura, traz a expectativa de impureza em águas, ilhas de lixo, poluição no ar, etc, tornando claro a intervenção imediata com projetos que combatam a poluição [European Environment Agency 2018].

O Gerenciamento de Recursos Naturais (GRN) é uma área em expansão que visa o combate do problema apresentado, ou seja, o campo busca melhorar a qualidade dos

*  O trabalho Sistemas Multiagente e Jogos de Papéis Aplicados à Gerenciamento de Recursos Naturais de Vinícius Borges Martins, Raquel de Miranda Barbosa e Diana Francisca Adamatti está licenciado com uma Licença Creative Commons - Atribuição-NãoComercial 4.0 Internacional. <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

recursos naturais do futuro com base na qualidade de vida das pessoas do presente, gerenciando terras (reservas naturais, propriedades públicas e privadas), água (bacias hidrográficas, oceanos), plantas (florestas, arborização em cidades) e animais (selvagens ou não) [Fuller et al. 2007].

Porém, o GRN pode trazer três desafios, segundo [Fuller et al. 2007]: (1) controle e otimização, (2) gerenciamento/comunicação, e (3) análise de dados. Portanto, a necessidade de ferramentas para suprir tais desafios são necessárias.

A Inteligência Artificial (IA), mais especificamente os Sistemas Multiagente (SMA), visam o uso de objetos inteligentes (chamados de *agentes*) que, com base nas informações que eles tem do ambiente, tomam a melhor decisão conhecida pra atingir um objetivo pessoal e, conseqüentemente, o objetivo do grupo, de maneira heterogênea e independente [Lesser 1999]. Os SMA, quando utilizados para simulações, são chamados de Simulações Baseadas em Agentes (MABS - *Multi-Agent-Based Simulations*). Estes, por sua vez, visam simular um ambiente onde os agentes interagem em prol de descobrir ou prever a solução de um problema, normalmente de forma interdisciplinar [Gilbert and Troitzsch 2005] [Le Page et al. 2015] [Le Page et al. 2016].

Tal interdisciplinaridade e ferramentas disponíveis nas MABS as torna um instrumento elegível para a estruturação e simulação dos problemas presentes no GRN.

Outra ferramenta que tem sido utilizada na área são os Jogos de Papéis (RPG - *Role-Playing Games*) [Perrotton et al. 2017]. No RPG, os participantes, no início do jogo, recebem um papel (personagem) do qual desempenhará até o final do jogo. Este tipo de jogo normalmente é dividido em turnos, de modo a todos os jogadores fazerem suas jogadas e essas jogadas influenciarem no ambiente antes de uma próxima jogada.

Um RPG pode ser jogado de forma impressa (com tabuleiros, cartas, etc), de forma oral (com um narrador e alternativas de jogadas orais) e de forma computacional. Há projetos ([Barnaud et al. 2007] [Adamatti et al. 2009] [Campo et al. 2009] [Le Page et al. 2016] [Le Page and Perrotton 2017]) que utilizam do RPG para a resolução de problemas para trabalhos em grupo, de modo a fazer cada jogador atuar, no jogo, no papel real de outro jogador, implicando na tomada de decisão com o ponto de vista do outro, tendendo a fazer os jogadores entenderem o porquê das decisões uns dos outros na vida real.

Desta forma, no GRN, o RPG torna-se outra ferramenta que auxiliaria a tomada de decisão por parte dos órgãos designados para este tipo de decisão, como os Comitês de Gerenciamento.

Este trabalho apresenta a base teórica reunida para criar um RPG computacional, denominado Gorim, que está sendo desenvolvido para ser usado com o Comitê da Lagoa Mirim e do Canal São Gonçalo (Brasil). O objetivo principal, portanto, é a explicação das áreas onde este trabalho está inserido, assim como a definição do jogo aqui apresentado. Espera-se que o jogo ajude os membros do Comitê nas suas tomadas de decisão, visto que eles estariam jogando nos papéis uns dos outros, vendo as possibilidades e necessidades dos outros membros, para, quando tomarem qualquer decisão, eles pensem na solução que traz o maior número de vantagens para todos, e, principalmente, para o meio ambiente. Além disso, agentes inteligentes serão inseridos para jogarem com os participantes como NPCs (*Non-Player Characters* - “personagens não-jogável”), para o caso de não haver o

número de jogadores necessários para o jogo.

2. Referencial Teórico

2.1. Sistemas Multiagente

Na programação convencional (orientada à objetos) são utilizados *objetos* na execução de programas. Porém, na programação orientada a agentes são utilizados *agentes*. A diferença entre estas duas estruturas é que, enquanto um objeto tem todas as funcionalidades pré-definidas, ou seja, tem exatamente o método a ser chamado para determinada entrada, os agentes têm um conjunto de opções a serem decididas por ele durante a execução do programa para tentar alcançar o objetivo traçado pelo usuário [Wooldridge 2002, p.26] [Moreno 2003]. Adicionalmente, um agente autônomo deve ser capaz de interagir ao longo do tempo com o ambiente em que foi inserido para importar as informações relevantes para as suas tomadas de decisões, a fim de atingir seus objetivos [Franklin and Graesser 1996].

Sistemas Multiagente são sistemas onde vários agentes trabalham em conjunto de forma independente para atingir suas metas, alcançando, então, o objetivo do sistema. Os agentes, dentro dos SMA, podem ser homogêneos (ou seja, aprendem da mesma forma) ou heterogêneos (de forma diferente), sendo que, em ambas as abordagens, trabalham de forma assíncrona das *threads* (linhas de execução) dos outros agentes [Lesser 1999]. Mesmo trabalhando de forma individual, os agentes devem ser capazes de agir organizadamente, pois a maioria dos problemas resolvidos por eles, são resolvidos de forma distribuída. Portanto, devem ser implementadas características como cooperação, coordenação, competição, negociação e comunicação [Alvares and Sichman 1997] [Frozza 1997] [Bordini et al. 2001] [Bousquet and Le Page 2004].

Simulações, por mostrarem detalhes com bastante precisão, são ferramentas úteis para a tomada de decisões [Frozza 1997]. Há uma área dos SMA que são unidos às simulações (formando as Simulações Baseadas em Agentes [MABS]) que tem como objetivo estudar as consequências de diferentes parâmetros em um ambiente unindo diversas áreas de estudo no processo (como psicologia e biologia social, ciência da computação, sociologia e economia) [Gilbert and Troitzsch 2005] [Le Page et al. 2015] [Le Page et al. 2016].

Resumidamente, o uso de SMA pode ser proveitoso, podendo-se citar: a rapidez na resolução de problemas devido à execução paralela das atividades dos agentes; a flexibilidade e escalabilidade conectando vários sistemas entre si; e ter um maior escopo de informações que retornam dos sistemas, tendo em vista que todos os recursos estão localizados no mesmo ambiente [Leitzke et al. 2019].

No caso deste trabalho, o uso de SMAs e MABS será feito ao serem inseridos jogadores virtuais (NPCs), para jogarem em conjunto com os jogadores reais no caso não haver o número suficiente desses para o início do jogo, e para simulações, possibilitando a previsão de consequências para o ambiente tendo como base as decisões tomadas durante o jogo.

2.2. Jogos de Papéis

Uma modalidade dos jogos são os chamados Jogos de Papéis, que estão localizados entre jogos e teatro, pois junta a interação entre pessoas em forma de jogo e a interpretação

destas acerca dos personagens disponíveis, tendo que agir em um ambiente com regras e comportamentos definidos anteriormente para completar-se a história dada [Pereira 2003] [Adamatti et al. 2007]. Deste modo, na maior parte das vezes, RPG não apresentam vencedores e perdedores, sendo uma forma colaborativa de jogos, revelando aspectos das relações sociais e permitindo a observação direta das interações entre os jogadores [Barreteau et al. 2003] [Adamatti et al. 2007].

O RPG tem sido frequentemente utilizado em treinamentos, pois tem uma abordagem de simulação de situações sem efeitos no mundo real, além do aprendizado obtido, tornando-o, deste modo, uma ferramenta lúdica, facilitando o aprendizado do assunto retratado [Perrotton et al. 2017].

[Barreteau et al. 2001] falam ainda que os RPGs e os SMA tem muito em comum: os agentes podem corresponder aos papéis, o ambiente ao tabuleiro, o tempo (*steps*) às rodadas do jogo, etc, sendo, assim, ferramentas eletíveis para uso em conjunto.

2.3. Gerenciamento de Recursos Naturais

A água é o recurso natural mais vital para o ecossistema e suas populações, pois ela é essencial para a vida e saúde de plantas e animais, além de ser importante em questões sociais e econômicas humanas [Ponte et al. 2016]. O campo de Gerenciamento de Recursos Naturais (GRN) é a área que estuda as formas de gerenciar água, animais, plantas e terras, baseando-se na qualidade do ambiente para as gerações futuras [Holzman 2009]. Segundo [Fuller et al. 2007], o GRN possui três desafios computacionais: (1) controle e otimização, (2) gerenciamento/comunicação, e (3) análise de dados.

Uma das áreas do GRN é a de Gestão de Recursos Hídricos (GRH), que discute melhores práticas de distribuição e uso da água, envolvendo organizações e diferentes grupos sociais. Além disso, a GRH é responsável pelas situações de risco ambiental e social, como enchentes e secas, situações essas que precisam de ações preventivas das autoridades [Tundisi 2006].

Bacias hidrográficas são áreas geográficas onde, devido ao relevo, a água da chuva ou de nascentes escorrem até o fundo do vale saindo por um único ponto (normalmente um rio) ou, se houver uma crista de relevo pelo caminho, separa-se a água entre duas bacias diferentes [Ahmad and Simonovic 2005].

O Rio Grande do Sul possui a Bacia Hidrográfica da Lagoa Mirim e do Canal São Gonçalo, tendo, como gestores destes recursos, o Comitê de Gerenciamento local. Dentre as cidades presentes, as bacias englobam as cidades de Rio Grande e Pelotas.

2.4. Integração das áreas

Levando em conta os desafios computacionais acerca do GRN, a interdisciplinaridade dos SMA os elegem como ferramenta para a modelagem dos problemas relacionados aos recursos naturais. Além disso, [Le Page and Perrotton 2017, Barreteau et al. 2001] afirmam a similaridade entre SMA e RPG, de forma a assegurar que, a partir de um ponto de vista formal, o RPG é um tipo de SMA devido a composição deste por entidades que estão imersos em um ambiente indo atrás de seus objetivos específicos. Por estas particularidades apresentadas, o projeto foi inserido dentre estas áreas, como mostrado na Figura 1.

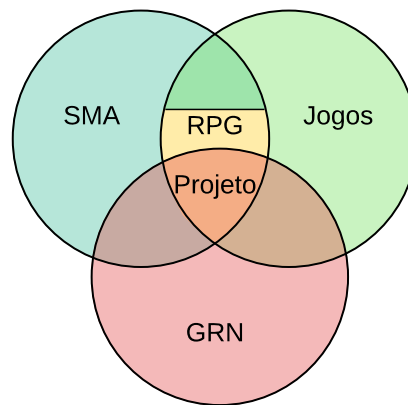


Figura 1. Diagrama de Venn que mostra onde o projeto está inserido.

2.5. Metodologias

Existem metodologias criadas para estudos utilizando as três áreas (SMA, RPG e GRN), apresentados nas subseções a seguir.

2.5.1. Companion Modelling (ComMod)

Esta metodologia foi proposta em [Bousquet et al. 1999] pelos membros do CIRAD¹ (*Centre de coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement*). Ela foi criada com o intuito de padronizar uma metodologia para a criação de sistemas/simulações a serem utilizadas como auxiliares nas tomadas de decisões de gestores. É dividida em três estágios:

- *Construção de um mundo artificial.* Este estágio envolve um ou mais pesquisadores e deve ser usado para reunir informações sobre o sistema em estudo, ou seja, identificar os diferentes atores e percepções envolvidos (as) e usar SMA para a modelagem.
- *Validação do modelo cognitivo.* Estágio de testes do modelo proposto. O teste deve ser realizado a fim de analisar as representações e interações dos agentes, utilizando um RPG.
- *Simulações.* Este estágio mostra como as dinâmicas do sistema surgem de interações entre os atores com diferentes pesos e representações. É dividida em dois sub-estágios:
 - *RPG.* Onde os atores usam suas interações e mostram diferentes cenários que são úteis para testes.
 - *SMA.* Utilizado para simular os cenários emergentes do sub-estágio anterior. Após as simulações, todos os resultados devem ser discutidos com os envolvidos.

2.5.2. Games and Multi-Agent-Based Simulation (GMABS)

A metodologia foi proposta em [Barreteau et al. 2001] e nomeada em [Adamatti et al. 2007] de GMABS (*Games and Multi-Agent-Based Simulation*),

¹www.cirad.fr

pois os autores principais não nomearam a abordagem. Nesta abordagem, o principal enfoque é na descrição dinâmica das técnicas de integração entre RPG e MABS. Esta metodologia esta dividida em cinco passos:

1. Os jogadores passam a conhecer as regras, os possíveis movimentos e o ambiente onde serão inseridos no RPG. É definido, então, com qual personagem cada um jogará.
2. Começa uma nova rodada e os jogadores tem um tempo para negociarem e decidirem suas ações da rodada.
3. As informações são repassadas para o simulador SMA.
4. Os dados são computados e o ambiente será atualizado em um novo cenário.
5. O ambiente atualizado é repassado aos jogadores e, se o jogo não tiver terminado, novas ações serão tomadas (passo 2).

O projeto utiliza uma junção das duas abordagens. Para a primeira versão do jogo (jogo de tabuleiro, estado atual do projeto), que o módulo de cálculos computacional é usado, foi implementado utilizando a metodologia GMABS. O projeto em geral, porém, para a melhor relação entre os envolvidos, usa a abordagem ComMod.

2.6. Trabalhos Relacionados

Uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL) foi feita por [Farias et al. 2019], utilizando a metodologia proposta em [Mariano et al. 2017], para reunir todas as pesquisas nos principais repositórios considerando os três campos principais (RPG, SMA e GRN). Para tanto, eles utilizaram os parâmetros: artigos que foram publicados em menos de 10 anos contando do RSL, utilizar aos repositórios ACM², IEEE³, ScienceDirect⁴, Scopus (Elsevier)⁵ e SpringerLink⁶, e a questão principal “*What are the main works addressing natural resource management using multiagent systems and role-playing games?*” - Quais são os principais trabalhos que abordam gerenciamento de recursos naturais usando sistemas multiagente e jogos de papéis?”[Farias et al. 2019]. Foram selecionados 10 artigos, que foram divididos em 4 grupos:

- *RPG* → *SMA*. Este grupo se caracteriza pelos trabalhos onde o RPG é jogado pelos envolvidos em papel ou cartas e, no final do jogo, as informações são transformadas em uma simulação multiagente.
- *SMA* → *RPG*. O SMA é desenvolvido pelos pesquisadores e, então, um RPG é criado com as métricas usadas no SMA para serem validadas pelos *stakeholders*.
- *RPG* + *SMA*. Neste caso, o RPG é feito em papel com um módulo de cálculos computacional, pela complexidade dos cálculos a serem realizados, ou seja, o RPG e o SMA trabalham em conjunto.
- *RPG* ++ *SMA*. Por último, essa forma de integração é definida pelo uso de um RPG computacional ligado com o SMA.

Os trabalhos pertencentes aos últimos dois grupos foram escolhidos como trabalhos relacionados devido ao estado atual do projeto (RPG + SMA) e o objetivo (RPG ++

²<https://dl.acm.org>

³<https://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp>

⁴<https://www.sciencedirect.com>

⁵<https://www.elsevier.com/pt-br/solutions/scopus>

⁶<https://link.springer.com>

SMA). Em [Campo et al. 2009], é desenvolvido um ambiente que facilita a comunicação e negociação entre diferentes envolvidos sobre seus interesses, consequências de estratégias e identificação de intervenção de áreas. Os autores optaram por utilizar a abordagem ComMod.

O projeto proposto em [Le Page and Perrotton 2017] cria uma nova metodologia para modelagem de ambientes. Para o teste desta nova abordagem, os autores utilizaram o ComMod, criando um SMA e, consequentemente, um RPG, onde era estudada a tomada de decisão de uma vila quanto à possíveis incidentes em suas plantações.

[Adamatti et al. 2009] descreve um projeto que os autores usam uma ferramenta modelada por eles para os jogadores determinarem a qualidade e quantidade de água em um sistema de captação presente em um perímetro urbano. Foram feitos dois protótipos, onde, no primeiro, os participantes jogaram com outros participantes e, no segundo, eles jogaram randomicamente com agentes inteligentes. A abordagem utilizada para esse jogo foi a GMABS.

3. RPG Proposto

O jogo, denominado Gorim, consiste em cinco classes de personagens (Empresário, Agricultor, Fiscal Ambiental, Prefeito e Vereador) e duas cidades (Atlantis e Cidadela). Em cada cidade existe dois empresários, três agricultores, um fiscal, um prefeito e um vereador. A classe Empresário, porém, é dividida em quatro tipos: Semente, Máquina, Fertilizante e Agrotóxico, onde os empresários dos dois primeiros tipos respondem à Atlantis e, os outros, à Cidadela. Os personagens dessa classe são responsáveis por venderem seus produtos aos personagens agricultores, que fazem as próprias escolhas de combinações de produtos para plantar em suas terras, visto que cada combinação gera uma quantidade diferente de poluição e de produtividade. Os membros da classe Fiscal Ambiental, por sua vez, devem observar a poluição de cada jogador anterior para aplicar multa, se necessário. Além disso, são responsáveis por dar licença de Selo Verde aos agricultores, dando a eles desconto no imposto. Prefeitos são responsáveis por aplicar o dinheiro dos impostos e multas em soluções ambientais, que diminuem a poluição global, e, também, em aumentar ou diminuir os impostos. Os Vereadores, porém, devem dar ideias aos prefeitos quanto aos impostos e as ações ambientais.

Cada tipo de empresário tem tipos diferentes de produtos à oferecer aos agricultores. O empresário de Semente vende sementes de Hortaliça, Arroz ou Soja. O de Fertilizantes, por sua vez, vende fertilizantes Comum, Premium ou Super Premium, assim como os empresários de Agrotóxico. O empresário de Máquinas, porém, pode *alugar* três pacotes de máquinas, onde uma contém somente uma Semeadora, a segunda contém uma Semeadora e uma Colheitadeira, e a terceira uma Semeadora, uma Colheitadeira e um Drone. Este empresário também pode alugar um Pulverizador, que não provê nenhum aumento na produtividade, mas diminui a poluição produzida pela metade.

Os Agricultores têm em seu poder seis unidades de terra, onde é possível a plantação de uma semente com um fertilizante e um agrotóxico ou um pacote de máquina, ou seja, não é possível pôr um agrotóxico e um pacote de máquina no mesmo espaço de terra. Porém, é possível colocar um Pulverizador com um agrotóxico ou um pacote qualquer de máquina. É possível a não plantação também, ou seja, deixar a terra vazia. Cada produto tem um preço e cada combinação de produtos gera uma produtividade diferente,

que, por sua vez, dependendo do montante, cai em uma das classes de imposto, aumentando ou diminuindo a quantidade de imposto a ser paga.

Cada rodada do jogo é dividida em duas etapas, onde na primeira etapa jogam os empresários e os agricultores e, na segunda etapa, jogam os fiscais, os prefeitos e os vereadores. Na situação atual do projeto, jogam 10 jogadores de cada vez, ou seja, os papéis elegíveis (fiscal, prefeito e vereador) são jogados pelos jogadores da primeira etapa da rodada, que são eleitos de duas em duas rodadas pelos atores da mesma cidade. A Figura 2 ilustra a integração entre os papéis do jogo.

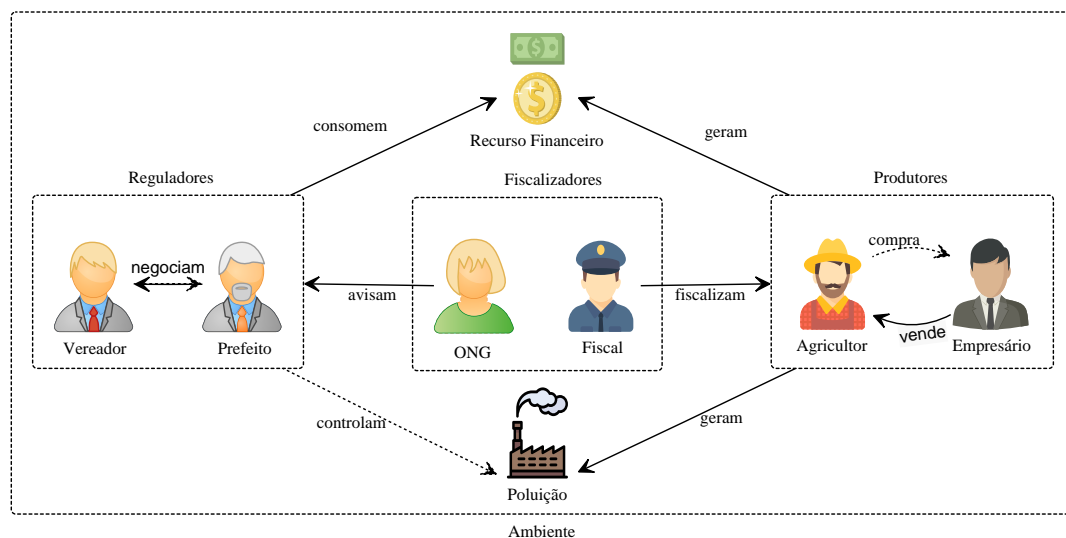


Figura 2. Diagrama de Integração entre os agentes do jogo.

A Figura 3a mostra estudantes e professores jogando no quarto teste-simulação do RPG, e a Figura 3b apresenta os broches feitos para os jogadores se identificarem durante o jogo. Na realização destes primeiros testes, foi possível verificar a integração entre os papéis, verificar regras e valores, e de fato consolidar o jogo. Também foi possível perceber que os jogadores, além de entenderem o objetivo do jogo, que é sobre a poluição da água, também se divertiram e criaram estratégias complexas.

3.1. Motor de Cálculos

Mesmo começando com valores redondos de “Dinheiros” (moeda do jogo) para cada jogador, a partir da cobrança de impostos e após compras/vendas, torna-se inviável o cálculo à mão do total de cada jogador, da poluição global e individual de cada um, o que tornou necessário a criação de um módulo computacional para fazer isso. Este motor de cálculos foi programado em JAVA estruturada na programação orientada a agentes. O diagrama de classes da estrutura do motor está apresentada na Figura 4. Além das classes apresentadas no diagrama, há a classe Mundo, que recebe as entradas da interface e chama os métodos de cada classe. Ao final de cada etapa, o motor ainda tem como saída os arquivos de resumo de cada jogador, que mostra o que foi feito na etapa. Além disso, durante todo o jogo existem outros arquivos: o arquivo onde todas as entradas são salvas, caso acontece alguma falha, se possa voltar ao lugar onde estava na execução, e



Figura 3. (a) Fotografia tirada em um teste-simulação do RPG. (b) Quatro dos 12 broches criados para identificar os papéis durante o jogo.

os arquivos de log, um textual que mostra de forma explícita todas as movimentações do jogo e um CSV, que mostra de forma resumida para a execução de uma mineração de dados, por exemplo.

4. Conclusões e Trabalhos Futuros

Este trabalho mostrou a base teórica, os trabalhos relacionados e o estado atual de um projeto que envolve as áreas de Sistemas Multiagente, Jogos de Papéis e Gerenciamento de Recursos Naturais. O projeto busca o desenvolvimento de um RPG computacional para ajudar a tomada de decisão do Comitê da Lagoa Mirim e do Canal São Gonçalo.

Atualmente, o projeto está em desenvolvimento, onde o jogo de tabuleiro está sendo refinado. O motor de cálculos está desenvolvido em JAVA. A etapa atual do projeto é a implementação da interface gráfica, que está sendo feita na linguagem TypeScript, com o uso do *framework* Angular. Para ligar ambas as partes, está sendo usado o *framework* Spring, para JAVA. Após, tudo será colocado em um servidor, para o jogo ser acessado remotamente. Junto a isso, os *logs* de dados de simulações foram usados em mineração de dados, traçando estratégias de jogadores para serem criados os NPCs. Estes jogarão com jogadores reais, quando não houver o número suficiente de jogadores necessário para começar o jogo, e será utilizada a linguagem AgentSpeak, da qual é possível a comunicação com o JAVA por meio do Jason.

5. Agradecimentos

Gostaríamos de agradecer à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e à Agência Nacional das Águas (ANA) pelo apoio financeiro via Edital nº 16/2017.

Referências

Adamatti, D. F., Sichman, J. S., and Coelho, H. (2007). Utilização de rpg e mabs no desenvolvimento de sistemas de apoio a decisão em grupos. *Anais do IV Simpósio Brasileiro de Sistemas Colaborativos SBSC 2007*, page 15.

- Adamatti, D. F., Sichman, J. S. a., and Coelho, H. (2009). An analysis of the insertion of virtual players in gmabs methodology using the vip-jogoman prototype. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 12(3):7.
- Ahmad, S. and Simonovic, S. P. (2005). An artificial neural network model for generating hydrograph from hydro-meteorological parameters. *Journal of Hydrology*, 315(1-4):236–251.
- Alvares, L. O. and Sichman, J. S. (1997). Introdução aos sistemas multiagentes. In *XVII Congresso da SBC-Anais JAI'97*.
- Barnaud, C., Promburom, T., Trébuil, G., and Bousquet, F. (2007). An evolving simulation/gaming process to facilitate adaptive watershed management in northern mountainous thailand. *Simulation & gaming*, 38(3):398–420.
- Barreteau, O., Bousquet, F., and Attonaty, J.-M. (2001). Role-playing games for opening the black box of multi-agent systems: Method and lessons of its application to senegal river valley irrigated systems. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 4.
- Barreteau, O., Le Page, C., and D'aquino, P. (2003). Role-playing games, models and negotiation processes. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 6(2).
- Bordini, R. H., Vieira, R., and Moreira, A. F. (2001). Fundamentos de sistemas multiagentes. In *Anais do XXI Congresso da Sociedade Brasileira de Computação (SBC2001)*, volume 2, pages 3–41.
- Bousquet, F., Barreteau, O., Le Page, C., Mullon, C., and Weber, J. (1999). An environmental modelling approach: the use of multi-agent simulations. *Advances in environmental and ecological modelling*, 113(122).
- Bousquet, F. and Le Page, C. (2004). Multi-agent simulations and ecosystem management: a review. *Ecological modelling*, 176(3-4):313–332.
- Campo, P. C., Mendoza, G. A., Guizol, P., Villanueva, T. R., and Bousquet, F. (2009). Exploring management strategies for community-based forests using multi-agent systems: A case study in palawan, philippines. *Journal of Environmental Management*, 90(11):3607 – 3615.
- European Environment Agency (2018). Increasing environmental pollution (gmt 10). Online. Disponible at: <https://www.eea.europa.eu/soer-2015/global/pollution>. Accessed: november 15, 2019.
- Farias, G., Leitzke, B., Born, M., Aguiar, M., and Adamatti, D. (2019). Systematic review of natural resource management using multiagent systems and role-playing games. In *18th Mexican International Conference on Artificial Intelligence - MICAI*, Xalapa. Springer.
- Franklin, S. and Graesser, A. (1996). Is it an agent, or just a program?: A taxonomy for autonomous agents. In *International Workshop on Agent Theories, Architectures, and Languages*, pages 21–35. Springer.
- Frozza, R. (1997). Simula: Ambiente para desenvolvimento de sistemas multiagentes reativos. Master's thesis, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).
- Fuller, M. M., Wang, D., Gross, L. J., and Berry, M. W. (2007). Computational science for natural resource management. *Computing in Science & Engineering*, 9(4):40.

- Gilbert, N. and Troitzsch, K. (2005). *Simulation for the social scientist*. McGraw-Hill Education (UK).
- Holzman, B. (2009). Natural resource management. [Online; accessed 30 out. 2019] <http://online.sfsu.edu/bholzman/courses/GEOG%20657/>.
- Le Page, C., Bobo Kadiiri, S., Towa, K., William, O., Ngahane Bobo, F., and Waltert, M. (2015). Interactive simulations with a stylized scale model to codesign with villagers an agent-based model of bushmeat hunting in the periphery of korup national park (cameroon). *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 18(1).
- Le Page, C., Dray, A., Perez, P., and Garcia, C. (2016). Exploring how knowledge and communication influence natural resources management with rehab. *Simulation & Gaming*, 47(2):257–284.
- Le Page, C. and Perrotton, A. (2017). Kilt: A modelling approach based on participatory agent-based simulation of stylized socio-ecosystems to stimulate social learning with local stakeholders. In Sukthankar, G. and Rodriguez-Aguilar, J. A., editors, *Autonomous Agents and Multiagent Systems*, pages 31–44, Cham. Springer International Publishing.
- Leitzke, B., Farias, G., Melo, M., Gonçalves, M., Born, M., Rodrigues, P., Martins, V., Barbosa, R., Aguiar, M., and Adamatti, D. (2019). Sistema multiagente para gestão de recursos hídricos: Modelagem da bacia do são gonçalo e da lagoa mirim. In *Anais do X Workshop de Computação Aplicada a Gestão do Meio Ambiente e Recursos Naturais*, Belém, Pará, Brasil.
- Lesser, V. R. (1999). Cooperative multiagent systems: a personal view of the state of the art. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 11(1):133–142.
- Mariano, D. C. B., Leite, C., Santos, L. H. S., Rocha, R. E. O., and de Melo-Minardi, R. C. (2017). A guide to performing systematic literature reviews in bioinformatics. *arXiv preprint arXiv:1707.05813*.
- Moreno, A. (2003). Medical applications of multi-agent systems. *Computer Science and Mathematics Department, University of Rovira, Spain*.
- Pereira, C. E. K. (2003). Construção de personagem & aquisição de linguagem: O desafio do rpg no ines. In vol. 10, (jul/dez) Rio de Janeiro INES, 2004 Semestral ISSN 1518-2509 1–Forum–Instituto Nacional de Educação de Surdos, page 7.
- Perrotton, A., Garine-Wichatitsky, D., Fox, H. V., and Le Page, C. (2017). My cattle and your park: codesigning a role-playing game with rural communities to promote multistakeholder dialogue at the edge of protected areas. *Ecology and Society*, 22(1).
- Ponte, B., De la Fuente, D., Parreño, J., and Pino, R. (2016). Intelligent decision support system for real-time water demand management. *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 9(1):168–183.
- Tundisi, J. G. (2006). Novas perspectivas para a gestão de recursos hídricos. *Revista USP*, 1(70):24–35.
- Wooldridge, M. (2002). *Introduction to MultiAgent Systems*. John Wiley and Sons.

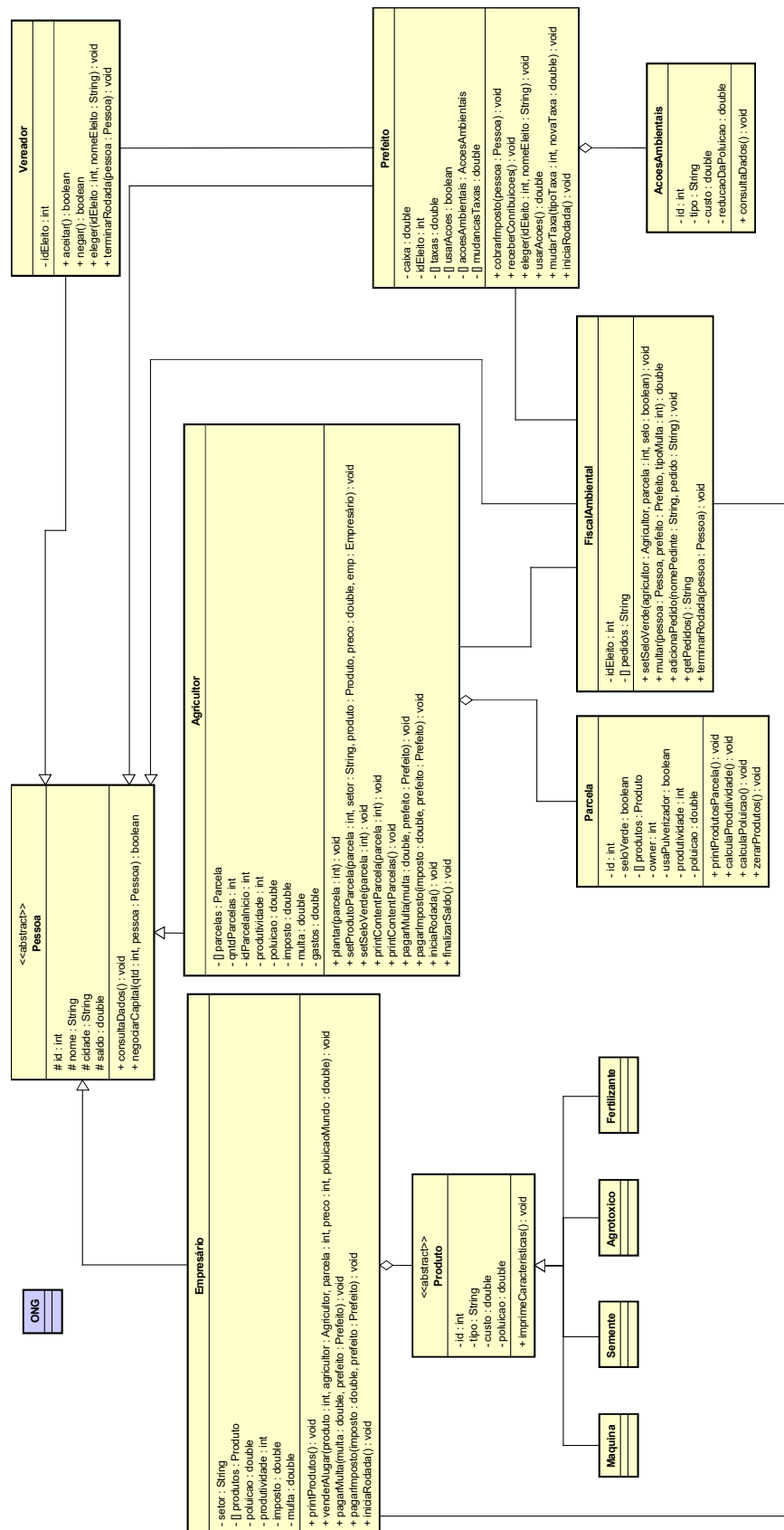


Figura 4. Diagrama de Classes que mostra a estrutura do Motor de cálculos.