

Sistema Multiagente para Gestão de Recursos Hídricos: Modelagem da Bacia do São Gonçalo e da Lagoa Mirim

Bruna Leitzke¹, Giovanni Farias¹, Marla Melo¹, Matheus Gonçalves¹,
Míriam Born², Paulo Rodrigues¹, Vinícius Martins¹, Raquel Barbosa³,
Marilton Aguiar², Diana Adamatti¹

¹Centro de Ciências Computacionais (C3)
Universidade Federal do Rio Grande (FURG) – Rio Grande – RS – Brasil

²Programa de Pós-Graduação em Computação (PPGC)
Universidade Federal de Pelotas (UFPEL) – Pelotas – RS – Brasil

³Instituto Federal do Rio Grande do Sul (IFRS) – Campus Rio Grande
Rio Grande – RS – Brasil

brunaleitzke@hotmail.com, {marilton,mbborn}@inf.ufpel.edu.br,
{dianaada,giovanifarias,marlamelo.sinfo,m2gonsalvez,paulofglr,
raq.mbarbosa,vimiciusbormar27}@gmail.com

Abstract. *The present paper presents the study of the areas of water resource management, Multi-Agent Systems (MAS) and Role Playing Games (RPG), as well as the integration of these initial participatory management modelling of the actors involved in this case study. In this context, the ComMod approach was used considering the São Gonçalo and Mirim Lagoon basin. The modelling was performed using the integration diagram, which represents the general view of the problem, and the UML diagrams (class and sequence), which expose the formalization of actions and the interactions between the agents of the system. As a result, we obtained the agents' actions and their interactions with the system. For future work, we intend to evaluate tools and develop the agent-based computational game.*

Resumo. *O presente artigo tem como objetivo apresentar o estudo das áreas de gerenciamento de recursos hídricos, sistemas multiagente (SMA) e jogos de papéis, bem como a integração destas à modelagem inicial de gestão participativa dos atores (agentes) envolvidos neste estudo de caso. Neste contexto, utilizou-se a abordagem ComMod considerando a bacia hidrográfica do São Gonçalo e da Lagoa Mirim. A modelagem foi realizada utilizando o diagrama de integração, que representa a visão geral do problema, e os diagramas UML (classe e sequência), que expõem a formalização das ações e as interações entre os agentes do sistema. Como resultado, obteve-se as ações dos agentes e suas interações com o sistema. Por trabalhos futuros, pretende-se avaliar ferramentas e desenvolver o jogo computacional baseado em agentes.*

1. Introdução

De acordo com [Millington 2006], “a Inteligência Artificial (IA) trata sobre computadores que são capazes de executar tarefas ‘pensantes’, que humanos e animais são capazes de

executar”. Nesse contexto, computadores resolvem problemas em diversas áreas, como matemática (com cálculos aritméticos e ordenação e pesquisa de dados) e, também, ecologia (com alocação e gestão de recursos em sistemas ecológicos, por exemplo).

O gerenciamento de recursos naturais é uma área que busca melhores formas de gerenciar terras, águas, plantas e animais, baseado em qualidade de vida das pessoas no presente e para gerações futuras. Essa área ganhou visibilidade com a noção de desenvolvimento sustentável, que é um princípio de como os governos veem e compreendem o mundo. O gerenciamento dos recursos naturais foca especificamente no entendimento técnico científico de recursos e ecologia e como esses recursos podem dar suporte à vida animal [Holzman 2009].

Para [Fuller et al. 2007], existem três desafios computacionais ligados ao gerenciamento de recursos naturais: gerenciamento e comunicação de dados; análise de dados; e, controle e otimização. Para resolver esses desafios, a utilização de ferramentas computacionais utilizando técnicas de IA pode ser uma solução, visto que elas têm a flexibilidade necessária para tratar a dinâmica existente em recursos naturais. Muitas técnicas estão disponíveis na literatura, como Algoritmos Genéticos, Redes Neurais, Sistemas Multiagente, Autômatos Celulares e Inteligência de Enxames.

Os Sistemas Multiagente (SMA) estudam o comportamento de um conjunto independente de agentes com diferentes características, evoluindo em um ambiente comum. Esses agentes interagem uns com os outros, e tentam executar suas tarefas de forma cooperativa, compartilhando informações, evitando conflitos e coordenando a execução das atividades. Adicionalmente, o uso de simulação como ferramenta de apoio a tomada de decisão é bastante eficiente, porque é possível verificar detalhes com grande precisão [Frozza 1997].

A Simulação Baseada em Multiagentes (MABS – *Multi-Agent-Based Simulation*) é a união de Sistemas Multiagente e de Simulação e é largamente utilizada, pois procura unir perspectivas interdisciplinares de estudo. Normalmente, envolve pesquisadores de diversas áreas, como psicologia social, ciência da computação, biologia social, sociologia e economia [Page et al. 2016, Le Page et al. 2015, Gilbert and Troitzsch 2005].

A utilização integrada de MABS e Jogos de Papéis (RPG – *Role-Playing Games*), a qual consiste em uma técnica onde os jogadores “interpretam” uma personagem, criada dentro de um determinado cenário (ambiente) [Adamatti et al. 2007], iniciou-se com pesquisas desenvolvidas pelo CIRAD¹ (*Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement*), França, no início dos anos 2000.

Esse grupo desenvolveu uma metodologia denominada “*ComMod: The Companion Modelling approach*”², onde os participantes têm papel decisivo no processo de tomada de decisão e entendimento dos problemas sócio-ambientais a serem resolvidos, sendo que inúmeros trabalhos já foram realizados em diversos países do mundo, incluindo o Brasil. Além disso, este estudo visa a utilização conjunta de Simulação Baseada em Multiagente e Jogos de Papéis com a finalidade de obter-se uma gestão participativa dos recursos hídricos, foco desta pesquisa, mais especificamente utilizando como base dados do estado do Rio Grande do Sul, e focando a aplicação piloto do trabalho no Comitê de

¹www.cirad.fr

²<https://www.commod.org/en>

Gerenciamento das Bacias Hidrográficas da Lagoa Mirim e do Canal São Gonçalo, que envolvem entre outras cidades, Rio Grande e Pelotas.

O artigo está organizado da seguinte forma. Na Seção 2, são apresentados os conceitos básicos sobre gestão de recursos hídricos, sistemas multiagente e a concepção de jogos de papéis. Na Seção 3, é apresentada a modelagem do problema, bem como os diagramas UML utilizados até o presente momento nesta pesquisa. Finalmente, na Seção 4, são apresentadas as conclusões e trabalhos futuros.

2. Referencial Teórico

Nesta seção são apresentados, brevemente, os principais conceitos dos temas estudados nesta pesquisa.

2.1. Gestão de Recursos Hídricos

Um dos recursos naturais mais importantes para o ecossistema e suas populações é a água, pois ela é essencial para todos os tipos de atividades sociais e econômicas, bem como para a vida e a saúde da humanidade [Ponte et al. 2016]. Além dos problemas que envolvem a demanda e o consumo da água, existem situações de risco ambiental e social, como enchentes e secas, que necessitam de ações preventivas das autoridades. A gestão de recursos hídricos envolve diferentes grupos e organizações que juntos devem pensar em formas eficientes de distribuição e uso de água. Como esse recurso é compartilhado e limitado, um dos pontos importantes para esse gerenciamento é a tomada de decisão conjunta, onde os agentes envolvidos no problema interagem entre si para chegar em soluções mais justas e satisfatórias [Adamatti 2007].

Uma bacia hidrográfica ou bacia de drenagem é uma área de captação natural da água, de precipitação ou drenagem que, devido ao relevo e geografia, ocasiona no escoamento da água para um único ponto de saída [Mello and Silva 2013]. Desníveis dos terrenos orientam os cursos d'água e determinam a bacia hidrográfica, que se forma das áreas mais altas para as mais baixas. O Comitê de Gerenciamento das Bacias Hidrográficas da Lagoa Mirim e do Canal São Gonçalo é o grupo que discute e decide sobre melhores formas de gerir essa bacia. Diante disso, nas primeiras conversas junto ao comitê foram identificados os agentes do problema e algumas das interações que ocorrem entre eles. Com isso, foi possível pensar nos primeiros passos da modelagem, que serão apresentados na Seção 3 na forma de diagramas de sequência e de classes, envolvendo todos os agentes identificados no Comitê de bacias. Desta forma, foi possível a representação das interações entre os agentes e o ambiente em que estão inseridos.

2.2. Sistemas Multiagente

O uso de SMA atualmente abrange pesquisas direcionadas a diversos temas sobre o gerenciamento de ecossistemas. Com essa técnica é possível reproduzir o conhecimento e raciocínio de vários agentes heterogêneos, que juntos, precisam resolver problemas comuns de planejamento [Bousquet and Le Page 2004]. Os sistemas multiagente constituem-se de diversos agentes interagindo em um ambiente. Os SMA foram introduzidos na Computação na década de 80, entretanto, somente nos anos 90 tornaram-se populares [Wooldridge 2002]. Cada agente de um sistema possui um comportamento individual, porém devem ser capazes de interagir com os demais de forma organizada.

Desta maneira, características como cooperação, coordenação, competição e negociação são relevantes [Bordini et al. 2001], pois a maioria dos problemas a serem resolvidos buscam uma maneira distribuída de resolução. Além disso, muitos destes possuem elevada complexidade, tornando impossível encontrar a solução apenas com um agente.

Em um SMA, os agentes podem cooperar em busca da solução de um objetivo geral, sendo que, cada um destes possui seu próprio objetivo, mas que juntos, alcançam uma meta maior [Alvares and Sichman 1997, Bordini et al. 2001]. Diversos são os benefícios da utilização de um sistema multiagente, entre eles, pode-se citar: i) rapidez na resolução de problemas visto a inerência do processamento concorrente; ii) aumento da flexibilidade e escalabilidade através da conexão de vários sistemas; e iii) aumento da capacidade de resposta a um determinado problema pelo fato de todos os recursos estarem localizados no mesmo ambiente.

2.3. Jogos de Papéis

Jogo de Papéis é um tipo de jogo onde os jogadores “interpretam” uma personagem, criada dentro de um determinado cenário (também chamado de ambiente). As personagens respeitam um sistema de regras, que serve para organizar suas ações, determinando os limites do que pode ou não ser feito [Pereira 2003]. RPG é uma técnica muito utilizada em treinamento, pois pode colocar os jogadores em situações de tomada de decisão similares às reais, porém sem consequências efetivas. Em especial, grandes empresas têm utilizado RPG em cursos de treinamento devido ao fator lúdico envolvido nos jogos, o que faz com que o treinamento e/ou aprendizagem de determinado assunto seja facilitado [Perrotton et al. 2017].

Os jogos de papéis estão situados entre os jogos e o teatro e consistem numa técnica onde se determinam regras e comportamentos de jogadores, bem como um contexto imaginário (ambiente) [Adamatti et al. 2007]. Assim, o RPG também é um meio de revelar alguns aspectos das relações sociais, permitindo a observação direta das interações entre os jogadores [Barreteau et al. 2003]. Desse modo, em um RPG não há vencedores e perdedores, dado que possui aspecto de colaboração em vez de competição. Ao final, deve-se completar uma história construída a partir das regras do jogo, na busca dos objetivos individuais e/ou coletivos [Adamatti et al. 2007].

3. Modelagem do Problema

O diagrama apresentado na Figura 1 mostra as interações básicas entre agentes, seus papéis e a influência que estes assumem no ambiente onde estão inseridos. Os agentes podem ser divididos em três grupos (reguladores, fiscalizadores ou produtores), de acordo com os papéis que assumem no ambiente.

Agentes reguladores são responsáveis por administrar os recursos financeiros, oriundos de impostos e taxações atrelados à sociedade, com o objetivo de controlar/mitigar a poluição (através da criação de leis, incentivos fiscais, obras para diminuir a poluição, etc.) sem prejudicar os mecanismos de produção. Neste ambiente, os agentes que assumem papéis de prefeito ou vereador pertencem ao grupo dos agentes reguladores, os quais podem negociar entre si (por exemplo, através de troca de mensagens) para decidir quais ações realizar no ambiente.

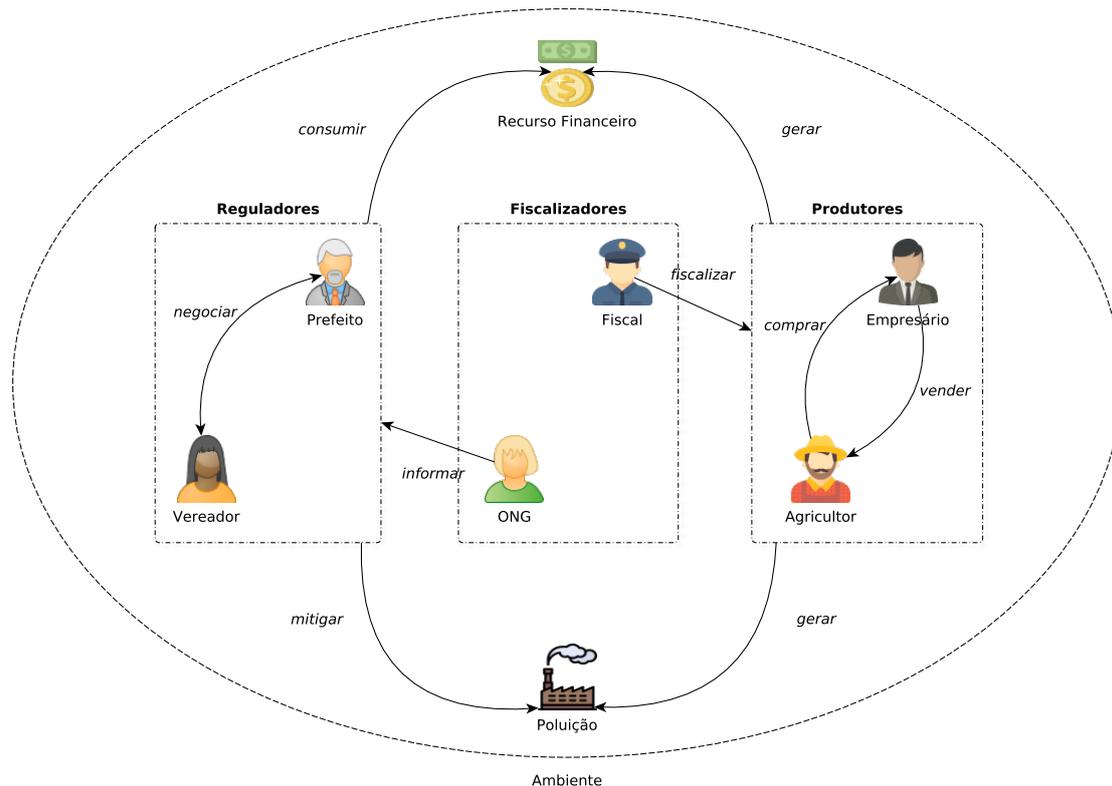


Figura 1. Diagrama de Integração

Agentes fiscalizadores têm como objetivo fiscalizar ou informar irregularidades atreladas à produção e exploração do ambiente. Conforme apresentado na Figura 1, agentes fiscalizadores são aqueles que assumem os papéis de fiscal da agência ambiental (por exemplo, FEPAM no RS) ou ONG (Organização Não-Governamental). Ou seja, o fiscal é responsável por fiscalizar os agentes que pertencem ao grupo dos produtores, isto é, o fiscal pode, por exemplo, aplicar multas aos agentes produtores que forem pegos infringindo alguma lei/regra imposta pelos agentes reguladores. A ONG é responsável por informar aos agentes reguladores o estado atual dos níveis de poluição do ambiente, com o objetivo de conscientizar/pressionar os outros agentes a realizarem ações que diminuam os níveis de poluição.

Agentes produtores são responsáveis por explorar o ambiente com o objetivo principal de obter recursos financeiros. Estes agentes são os maiores geradores de poluição e, conseqüentemente, de recursos financeiros no ambiente, podendo assumir os papéis de empresário ou agricultor. O empresário é responsável por disponibilizar equipamentos e insumos necessários para a produção. No entanto, o agricultor é responsável por utilizar os equipamentos e insumos que julgar mais adequado para a sua produção. Deste modo, a interação entre os agentes produtores ocorre através da compra/aluguel e venda de equipamentos e insumos, onde um agente agricultor pode comprar de um agente empresário e, conseqüentemente, um empresário pode vender/alugar a um agricultor.

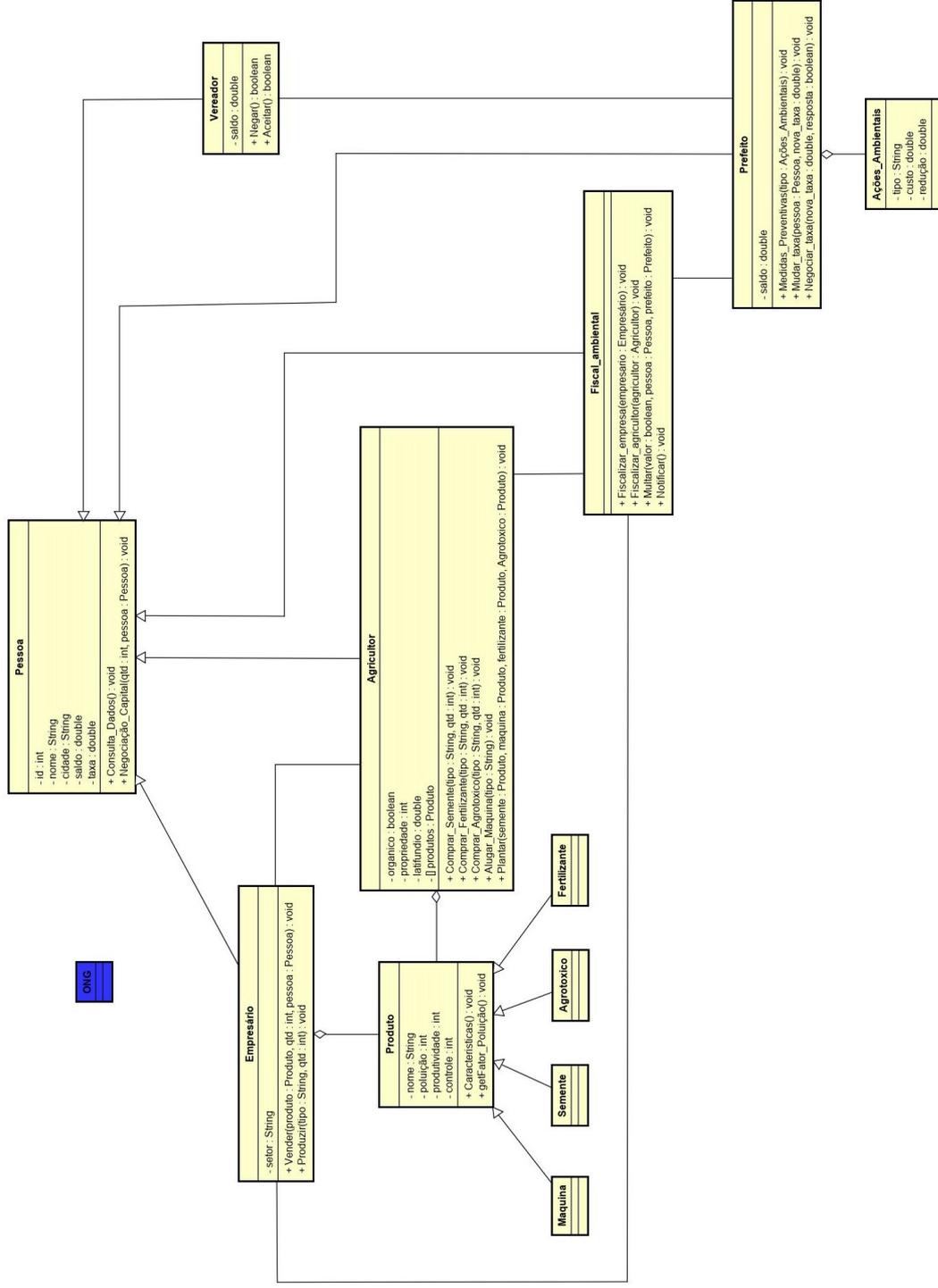


Figura 2. Diagrama Geral de Classes

3.1. Diagramas UML

No contexto deste estudo, a utilização de UML para a modelagem do sistema torna-se uma abordagem adequada, visto que tanto os papéis quanto as ações destes podem ser visualizadas de forma objetiva. Para a modelagem inicial foram utilizados os diagramas de classe e de sequência, modelando-os na ferramenta Astah UML ³.

3.1.1. Diagrama de Classes

O objetivo desta forma de representação é a definição das classes a serem implementadas no sistema, assim como apresentar seus atributos, operações e relações. Neste diagrama (vide Figura 2) é representada a estrutura de classes de cada um dos agentes, mostrando as interações com as respectivas classes agregadas e a comunicação entre eles.

A superclasse da qual todas as outras derivam e compartilham os atributos e métodos é a classe **Pessoa**, que generaliza as operações mais básicas exercidas pelos agentes. Na subclasse **Empresário** é feita a agregação da classe **Produto**, que definirá a função empresarial que este terá. A comunicação com a classe **Agricultor** representa os trâmites de compra e venda, e, com o **Fiscal_Ambiental**, representa a fiscalização e os trâmites de multas devido à excedência de poluição.

Na subclasse **Agricultor** também é feita a agregação da classe **produto**, porém com função similar a de um estoque, separando os tipos e subtipos de produtos. A comunicação entre essa classe e a **Empresário** é necessária por causa da relação compra e venda que apresentam (como citado). E, também como na classe **Empresário**, a comunicação com a classe **Fiscal_Ambiental** representa a fiscalização. Na subclasse **Fiscal_Ambiental**, além das relações com o **Agricultor** e o **Empresário**, há a com o **Prefeito**, que representa a reportação das multas aplicadas e a situação ambiental.

Na subclasse **Prefeito** é feita a comunicação com o **Fiscal_Ambiental**, comentado anteriormente. A comunicação com a classe **Vereador** é dada para fins políticos como alterações de taxas impostos, criação de novas taxa, etc. O papel da subclasse **Vereador** é dada em conjunto com a subclasse **Prefeito**, já comentada. A classe **ONG** é uma classe que representa uma interface da situação atual do jogo que notifica e interage com as outras classes, porém, no papel de um NPC (do inglês, *Non Player Character*).

3.1.2. Diagramas de Sequência

Nesta Seção, em virtude da limitação de espaço, apresentam-se os diagramas referentes aos agentes **Prefeito** e **Agricultor**, pois estes agentes contêm o maior número de ações no jogo. Foi escolhida essa forma de representação por esta mostrar a sequência lógica dos processos e as interações dos objetos no sistema, além de mostrar de forma clara ao usuário cada ação possível pela personagem. Conforme a Figura 3, o **Prefeito** tem como objetivo receber os impostos de outros jogadores, cuidar dos orçamentos e dos impostos, além de tomar medidas ambientais. Estas ações são representadas no diagrama e mostram o que cada ação engloba dentro do sistema.

³<http://astah.net/>



Figura 3. Diagrama de Sequência do Prefeito

Uma particularidade do sistema é que, tomando-se em consideração o diagrama de classes da Figura 2, todos os agentes descendem de uma mesma classe, podendo compartilhar funções em comum. Essas funções estão presentes em todos os diagramas de sequência, sendo representadas no diagrama do Prefeito como as ações “Solicitar os níveis de poluição”, “Negociar capital” e “Finalizar rodada”. Isso ocorre quando se parte do pretexto anteriormente citado de que todo agente pode fazer trocas de dinheiro, além do nível de poluição ser conhecido por todos no início da rodada. No caso do agente Agricultor (Figura 4), além das ações básicas de todas as personagens, o diagrama ainda expõe a sequência de passos a ser seguida pelo sistema para a plantação, compra de fertilizantes e de agrotóxicos e aluguel de máquinas.

4. Conclusões e Trabalhos Futuros

O artigo apresentou a modelagem, que está em fase inicial de desenvolvimento, de um estudo de caso para a bacia hidrográfica do São Gonçalo e Lagoa Mirim com a utilização de sistema multiagente e jogos de papéis. O processo de modelagem do problema, considera a aplicação da abordagem ComMod (que utiliza sistemas baseados em agentes e a vantagem dos jogos de papéis, visto que eles possibilitam a simulação de inúmeros cenários sociais) para apoiar os processos de tomada de decisão e entendimento dos problemas socio-ambientais, na gestão participativa que procura incluir todos os indivíduos que estão envolvidos em uma questão.

Na literatura, existem pesquisas que utilizam de forma integrada RPG e SMA para os diferentes usos da água. Desta forma, torna-se importante a modelagem de um sistema onde é possível analisar como as ações dos atores envolvidos impactam no processo. A modelagem com os diagramas de sequência e de classes, favoreceu a definição e

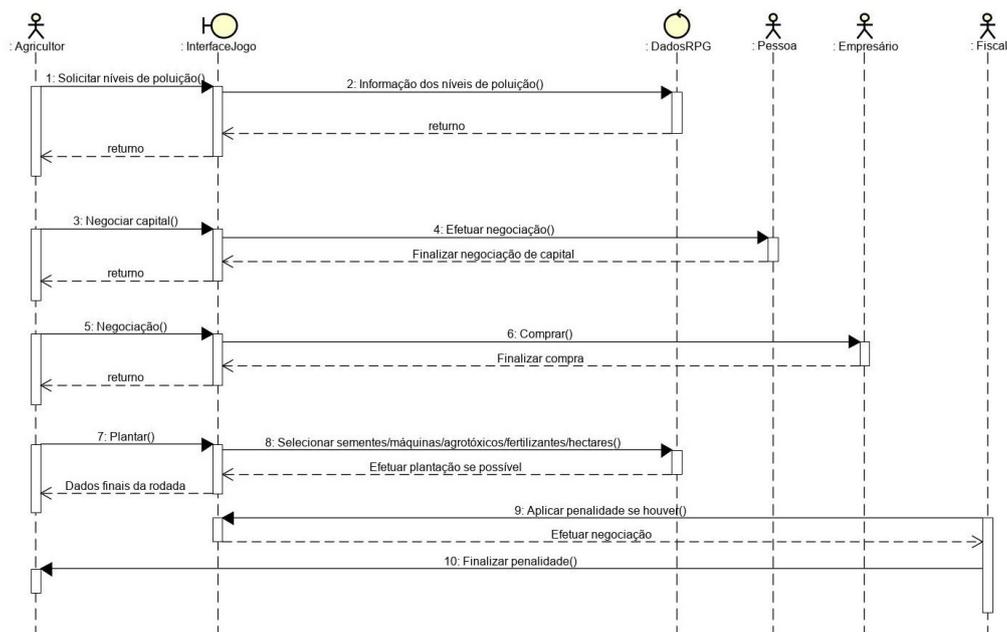


Figura 4. Diagrama de Sequência do Agricultor

formalização das ações e interações dos agentes. Desse modo, as próximas etapas incluem avaliar ferramentas para desenvolvimento de sistemas baseados em agentes. E, a partir da análise realizada, selecionar a ferramenta mais apropriada para a implementação de um modelo computacional para o problema apresentado. Um forte candidato para desenvolvimento do sistema proposto é o ambiente de desenvolvimento GAMA⁴, que permite a modelagem e a simulação de agentes espacialmente explícitos. Outra ferramenta em análise é o *framework* JaCaMo⁵, que combina três tecnologias separadas (Jason, CARtAgO e MOISE) para o desenvolvimento de sistemas multiagente.

Agradecimentos

Os autores deste artigo agradecem ao Programa de apoio ao Ensino e à Pesquisa Científica e Tecnológica em Regulação e Gestão de Recursos Hídricos – Pró-Recursos Hídricos Chamada N° 16/2017, pelo auxílio financeiro no desenvolvimento desta pesquisa.

Referências

- Adamatti, D. F. (2007). *Inserção de jogadores virtuais em jogos de papéis para uso em sistemas de apoio à decisão em grupo: um experimento no domínio da gestão de recursos naturais*. PhD thesis, Escola Politécnica – Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil. doi:10.11606/T.3.2007.tde-07012008-154915.
- 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.
- Alvares, L. O. and Sichman, J. S. (1997). Introdução aos sistemas multiagentes. In *XVII Congresso da SBC-Anais JAI'97*.

⁴<https://gama-platform.github.io/>

⁵<http://jacamo.sourceforge.net/>

- 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. and Le Page, C. (2004). Multi-agent simulations and ecosystem management: a review. *Ecological modelling*, 176(3-4):313–332.
- 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 apr. 2019] <http://online.sfsu.edu/bholzman//courses/GEOG 20657/>.
- Le Page, C., Bobo Kadiri, 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).
- Mello, C. d. and Silva, A. d. (2013). Hidrologia: princípios e aplicações em sistemas agrícolas. *Lavras: UFLA*.
- Millington, I. (2006). *Artificial Intelligence for Games*. Morgan Kaufmann series in interactive 3D technology. Taylor & Francis.
- Page, C. L., 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.
- 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., Valls Fox, H., Le Page, C., et al. (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.
- Wooldridge, M. (2002). *Introduction to MultiAgent Systems*. John Wiley and Sons.