

Modelagem da Organização de um Sistema Multiagente no Contexto de Recursos Hídricos *

Míriam Blank Born¹, Diana F. Adamatti², Marilton Sanchotene de Aguiar¹

¹Programa de Pós-Graduação em Computação
Universidade Federal de Pelotas (UFPel) – Pelotas – RS – Brasil

²Centro de Ciências Computacionais (C3)
Universidade Federal do Rio Grande (FURG) – Rio Grande – RS – Brasil


{mbborn, marilton}@inf.ufpel.edu.br, dianaada@gmail.com

Abstract. *The study of multi-agent systems (MAS) applied to natural resource management presents numerous challenges, even if it is limited only to the distribution and sharing of water resources in this study. Therefore, the proper administration of this resource is essential in the search for solutions for this type of scenario. This paper aims to model and simulate a multi-agent system composed of three types of agents: regulators, producers, and supervisors. For that, it presents a case study of the watershed of Lagoa Mirim and Canal São Gonçalo. In Moise+, we introduced the organization's initial modeling of two roles that make up the system. This definition will assist in the implementation of the MAS because the intention is to use the JaCaMo framework since this platform integrates Jason, CArtaGo, and Moise+ technologies for multi-agent programming.*

Resumo. *O estudo de sistemas multiagente (SMA) aplicado ao gerenciamento de recursos naturais apresenta inúmeros desafios, mesmo limitando-se apenas à distribuição e ao compartilhamento de recursos hídricos neste estudo. Sendo assim, é indispensável a gestão adequada deste recurso na busca de soluções para este tipo de cenário. Este artigo apresenta como objetivo a modelagem e a simulação de um sistema multiagente composto por três tipos de agentes: reguladores, produtores e fiscalizadores. Além disso, apresenta um estudo de caso da bacia hidrográfica da Lagoa Mirim e Canal São Gonçalo. Ainda, apresenta-se a modelagem inicial da organização no Moise+ de dois papéis que compõem o sistema. Esta definição auxiliará na implementação do SMA pois pretende-se utilizar o framework JaCaMo visto que esta plataforma integra as tecnologias Jason, CArtaGo e Moise+ para a programação multiagente.*

1. Introdução

O gerenciamento dos recursos hídricos torna-se a cada ano um dos grandes desafios vividos pela sociedade na atualidade. Assim, o estudo, a análise e a elaboração de novos modelos de gestão tornam-se relevantes para a busca de possíveis soluções neste

*  O trabalho Modelagem da Organização de um Sistema Multiagente no Contexto de Recursos Hídricos de Míriam Blank Born, Marilton Sanchotene de Aguiar e Diana Francisca Adamatti está licenciado com uma Licença Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-CompartilhaIgual 4.0 Internacional. <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

contexto. O Brasil dispõe de grandes bacias hidrográficas em seu território, entretanto apresenta diversos tipos de conflitos relacionados à distribuição e compartilhamento do recurso [Brito et al. 2020, Born et al. 2019b].

A modelagem multiagente apresenta-se como um recurso eficaz para a simulação de sistemas ecológicos e sociais complexos. Para a gestão participativa de recursos hídricos e o auxílio na tomada de decisão, as ferramentas baseadas em agentes são amplamente utilizadas em diversos domínios de aplicação [Filatova et al. 2013]. No contexto de uma bacia hidrográfica, por exemplo, o estudo e a gestão de recursos renováveis é um importante caminho na busca de possíveis soluções aos problemas enfrentados pelos interessados em um determinado ecossistema [Adamatti 2007].

Além disso, para a modelagem e o desenvolvimento destes sistemas complexos, torna-se necessária uma plataforma e/ou *framework* que forneça recursos computacionais adequados que facilitem o entendimento e detalhamento do problema como, no âmbito deste trabalho, a especificação da organização de um sistema multiagente (SMA), a partir de uma ferramenta como o Moise+ ((*Model of Organization for multi-agent SystEms*) [Hübner 2003], e a modelagem do sistema, com o *framework* JaCaMo [Boissier et al. 2016], amplamente utilizado na programação multiagente.

Neste trabalho, a partir da modelagem de um jogo computacional baseado em Sistemas Multiagente e Jogos de Papéis (RPG) apresentada em [Leitzke et al. 2019], propõe-se a organização de um sistema multiagente composto por três tipos de agentes i) reguladores, ii) produtores e iii) fiscalizadores, com um estudo de caso da bacia hidrográfica da Lagoa Mirim e Canal São Gonçalo. O estudo também define o diagrama de integração [Born et al. 2019b] apresentando a visão geral do sistema como os grupos de agentes, suas ações e recursos do ambiente. Os diagramas de classe e de sequência definem a formalização destas ações e as interações entre estes agentes.

Visto a complexidade do desenvolvimento de um sistema multiagente associado a um jogo computacional busca-se neste trabalho, como primeiro passo, a definição desta organização multiagente. A modelagem está sendo especificada no Moise+, visando contribuir para a implementação futura de todo o sistema. O *framework* JaCaMo será utilizado para desenvolvimento e simulação deste modelo, pois a plataforma integra as tecnologias Jason, CArtaGO e Moise+ para a programação multiagente.

O artigo encontra-se organizado da seguinte forma. Na Seção 2 são apresentados conceitos fundamentais sobre Sistemas Multiagente. Na Seção 3 é introduzido um panorama geral sobre o *framework* JaCaMo, com suas características e a integração entre as ferramentas. Na Seção 4 é apresentado o estudo de caso, bem como a modelagem de uma organização multiagente no Moise+. E por fim, a Seção 5 apresenta as considerações finais e trabalhos futuros.

2. Sistemas Multiagente

A aplicação de SMA em modelagem e simulação no contexto do gerenciamento de recursos naturais é estudada há alguns anos, com inúmeras pesquisas publicadas e resultados promissores. Os modelos biológicos, assim como as interações sociais, servem de inspiração para o desenvolvimento de sistemas onde agentes inteligentes podem ser concebidos por meio de dispositivos de *hardware* e/ou *software* [Artero 2009]. Os

agentes representados por estes equipamentos ou programas devem ter a capacidade de perceber seu ambiente por meio de sensores e de agir sobre este por meio de atuadores [Russell and Norvig 2013].

Dentre alguns trabalhos neste âmbito pode-se mencionar [Adamatti 2007], onde jogadores virtuais são inseridos em um RPG com intuito de apoiar decisões em grupo no contexto de recursos naturais. Em [Gaudou et al. 2014], foi desenvolvida uma plataforma de modelagem e simulação baseada em agentes para estudar os impactos ambientais, econômicos e sociais de regulamentações relacionadas à utilização e ao gerenciamento da água. [Thérond et al. 2014] utiliza a plataforma MAELIA no estudo de problemas de escassez da água e o estudo [Taillandier and Buard 2009] apresenta uma formalização do comportamento de agentes utilizando uma combinação de regras de produção e um método de tomada de decisão multicritérios no domínio da Ecologia.

[Nwana 1996] menciona que os agentes possuem três características importantes: *cooperar, aprender e agir de maneira autônoma*. [Bordini et al. 2001] ainda acrescentam coordenação, competição e negociação como aspectos relevantes na concepção de agentes. A partir destas características, existem diferentes maneiras de classificar os agentes [Nwana 1996, Artero 2009, Coppin 2010], compreendendo-se basicamente em agentes reativos, agentes colaborativos, agentes de comunicação e agentes de aprendizado.

As propriedades, a arquitetura e a estrutura dos agentes, bem como o ambiente em que estes estão inseridos, são implementadas de acordo com o problema a ser resolvido, a complexidade e o domínio específico de cada aplicação. Em [Russell and Norvig 2013, Rezende 2005, Luger 2013], diversas aplicações e algoritmos são apresentados de forma a exemplificar a busca de soluções para esta demanda crescente de problemas.

Para [Alvares and Sichman 1997] e [Bordini et al. 2001], inúmeros são os benefícios da utilização de um SMA: 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 à um determinado problema pelo fato de todos os recursos estarem localizados no mesmo ambiente e também, a modularidade obtida mediante esta técnica.

No desenvolvimento de SMA, uma arquitetura comumente utilizada é a BDI (*Beliefs-Desires-Intentions*), baseada em um modelo cognitivo que representam crenças, desejos e intenções [Hübner et al. 2004]. Para [Wooldridge 2002], *crenças* representam o que o agente sabe sobre si mesmo, dos demais agentes e o ambiente ao qual está inserido; *desejos* representam os estados que o agente almeja atingir, geralmente são objetivos; e, *intenções* são representadas pela sequência de ações que determinado agente comprometeu-se em executar para alcançar um objetivo.

3. Framework JaCaMo

O *framework* de programação multiagente JaCaMo [Boissier et al. 2016] tem sido desenvolvido ao longo dos anos e integra as plataformas Jason [Bordini et al. 2007], utilizado no desenvolvimento de agentes autônomos; CArtaGO [Ricci et al. 2011], aplicado no desenvolvimento de ambientes compartilhados; e, o Moise+ [Hübner et al. 2007] desenvolvido para a modelagem de organizações multiagente. A partir desta integração é proporcionado aos desenvolvedores um *framework* completo para aplicações de SMA.

Em JaCaMo consideram-se três: dimensões agente, ambiente e organização, com intuito de facilitar ao desenvolvedor a modelagem e implementação de sistemas multi-agente complexos [Thomasi 2014]. As conexões decorrem entre agente e ambiente (A-E) mediante o mapeamento das ações externas do agente para as operações nos artefatos (CArtAgO). As propriedades observáveis dos artefatos, observadas pelos agentes, são mapeadas para a base de crença do agente.

Entre organização e ambiente (O-E), considerando que a infraestrutura organizacional faz parte do ambiente no qual os agentes estão localizados, os artefatos organizacionais proveem operações utilizadas pelo agente e também para o gerenciamento da organização por agentes organizacionais. Em agente e organização (A-O), ocorre a partir do mapeamento dos objetivos, os quais são definidos na dimensão organizacional para os objetivos individuais de cada agente. Os objetivos da organização são delegados aos agentes a partir das obrigações [Hübner et al. 2010a].

A plataforma JaCaMo, a partir da integração destas ferramentas, composta pelos agentes, ambiente e interações, oferece um recurso para a escalabilidade de aplicativos complexos permitindo assim sua distribuição em diversos nós. Jason e Jade [Bellifemine et al. 2007] são ferramentas utilizadas na programação em nível de agente. No Jason, que é um interpretador para a linguagem *AgentSpeak-L*, é possível programar o comportamento do agente de acordo com uma abordagem declarativa, baseada em lógica e arquitetura BDI. Jade (*Java Agent Development Framework*) é utilizado para gerenciar o ciclo de vida dos agentes e possibilitar a troca de mensagens entre estes.

A partir da integração de Jason ao Jade tem-se a implementação da semântica dos atos de fala, as performativas do FIPA-ACL são integradas ao estado mental do agente. Com a integração de Jason ao CArtAgO permite-se a percepção e ações, sendo que todas as percepções dos artefatos são mapeadas em crenças e ações em planos para as operações do artefato [Boissier et al. 2016]. O CArtAgO possui artefatos especiais possibilitando o gerenciamento da estrutura do ambiente, que os agentes gerenciem o ciclo de vida do ambiente de trabalho e que interajam com o ambiente externo através de serviços disponíveis como: criar, destruir, ingressar e sair de áreas de trabalho locais ou remotas.

No JaCaMo, a dimensão organizacional é gerenciada por artefatos ORA4MAS (*ORganizational Artifacts for Multi-Agent Systems*), o qual consiste em uma abordagem baseada no metamodelo de agentes e artefatos (A&A). A infraestrutura para o gerenciamento organizacional do ORA4MAS é constituída por agentes e artefatos organizacionais. Os artefatos organizacionais são utilizados por estes agentes afim de facilitar suas atividades [Boissier et al. 2011, Thomasi 2014].

Em [Boissier et al. 2016], apresentou-se a utilização do JaCaMo em diversas áreas, dentre as quais na área de computação ambiental, como no gerenciamento inteligente de construções, ambientes virtuais inteligentes, gestão do conhecimento ou gerenciamento de crises.

4. Modelagem da Organização

Para este trabalho foi desenvolvida a modelagem inicial do problema, baseando-se na representação das interações básicas entre os papéis do sistema e a atuação destes no ambiente, de acordo com a especificação proposta em [Born et al. 2019a]. Neste estudo,

os agentes são classificados de acordo com os papéis que assumem e são divididos em três grupos principais (reguladores, fiscalizadores ou produtores), conforme Figura 1.

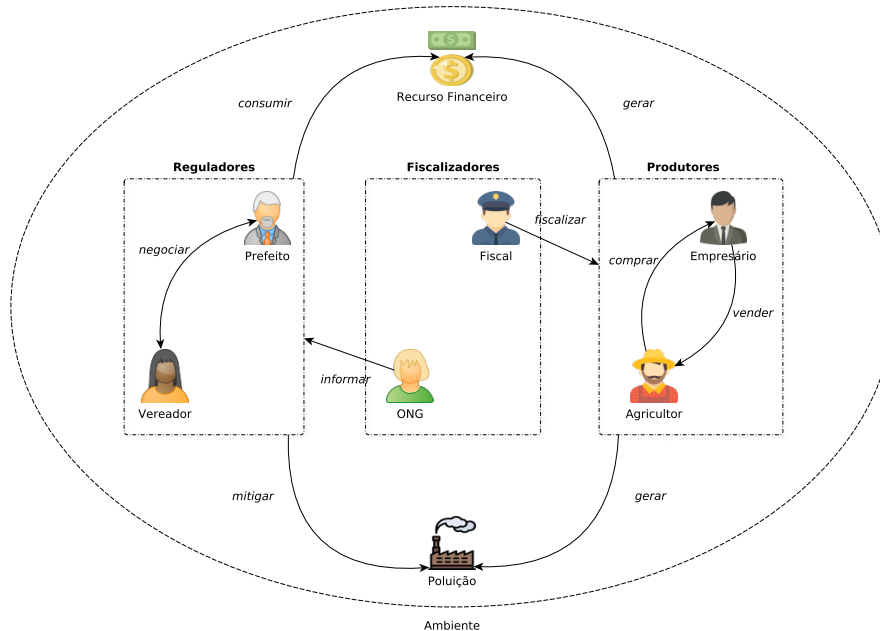


Figura 1. Diagrama de Integração do modelo proposto [Born et al. 2019a].

De acordo com [Born et al. 2019a], os agentes reguladores podem assumir os papéis de prefeito ou vereador, sendo responsáveis pela administração de recursos financeiros, com o objetivo de controlar ou mitigar a poluição do ambiente. Os agentes fiscalizadores possuem como atribuição fiscalizar ou informar irregularidades que impactam no ambiente a partir da produção e assumem os papéis de fiscal ambiental ou ONG (Organização Não-Governamental). Os agentes produtores, nos papéis de empresário ou agricultor, exploram o ambiente para suas produções e seu principal objetivo é obter recursos financeiros, a partir da venda dos seus produtos, de modo equilibrado com a poluição do meio ambiente. É relevante salientar que, não há restrição de interação entre os papéis neste sistema.

O Moise+ caracteriza-se por ser um modelo organizacional para sistemas multiagente composto de três dimensões: i) *estrutural*, constituída pelos grupos, papéis e ligações; ii) *funcional*, englobando planos globais, metas e missões; e, iii) *normativa* ou *deontica*, a qual define as obrigações e permissões dos agentes. Em [Hübner et al. 2010b] encontra-se um amplo tutorial com a conceitualização e exemplos de utilização do Moise+.

No desenvolvimento deste trabalho, baseando-se no diagrama de interação da Figura 1, elaborou-se a especificação estrutural da organização para este estudo de caso, conforme a Figura 2. Esta especificação estrutural também foi baseada na definição do RPG [Born et al. 2019a] elaborado para a gestão participativa dos recursos naturais no contexto da bacia hidrográfica da Lagoa Mirim e Canal São Gonçalo.

A especificação estrutural possui quatro grupos: Jogo, Regulador, Fiscalizador e Produtor, considerando que a interação pode ser intragrupo e externa a

estes. Todos os papéis são herdados do papel Jogador e possuem interação bilateral. Cada grupo e papel possui as cardinalidades correspondentes ao número de papéis definidos no trabalho [Born et al. 2019a], sendo que esta elaboração baseou-se no trabalho de [Hübner et al. 2002], com as devidas adaptações ao contexto deste estudo. No RPG, como o papel de jogador é uma pessoa, todos os demais papéis são herdados deste, por isso nesta especificação todos os papéis herdam características do papel de Jogador.

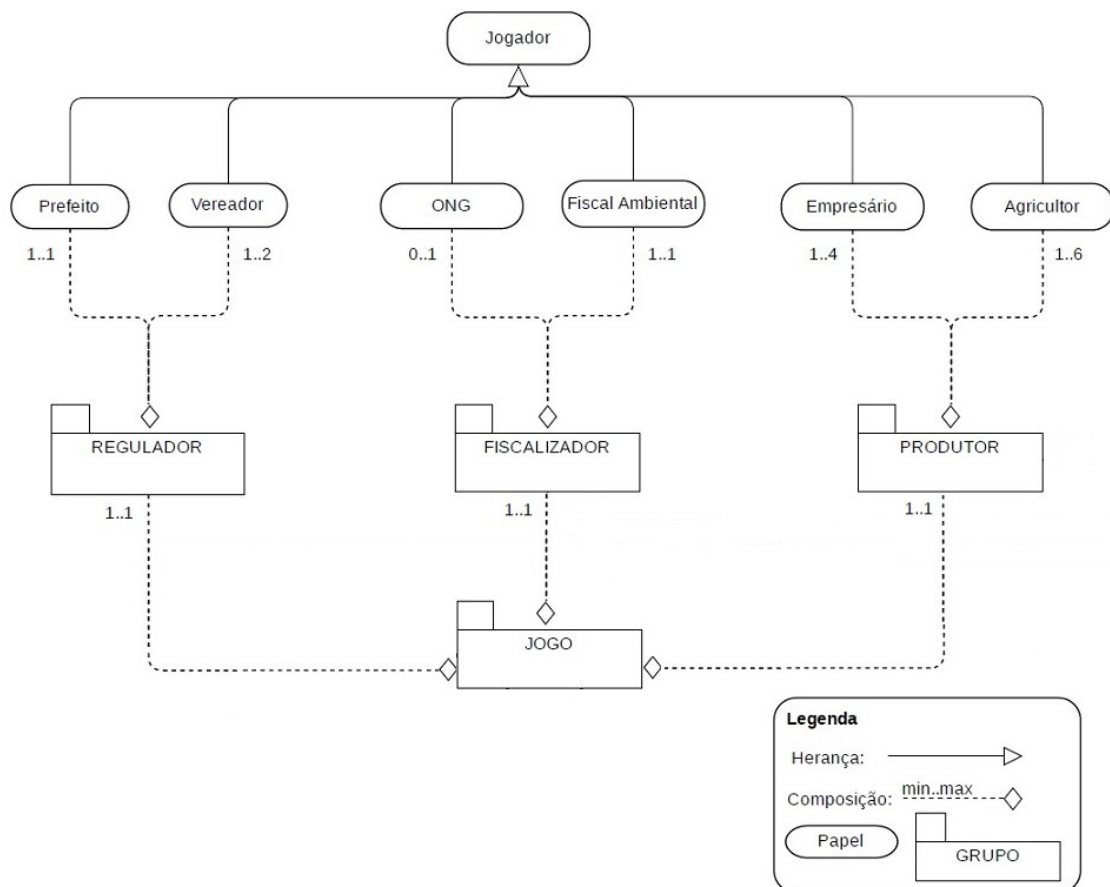


Figura 2. Especificação Estrutural da Organização para o modelo proposto.

Em relação às cardinalidades, no grupo Regulador, o agente pode assumir o papel de prefeito ou vereador, permitindo-se apenas um prefeito e dois vereadores. No grupo Fiscalizador, o agente pode assumir o papel de ONG ou de fiscal ambiental, considerando-se que um agente ou nenhum pode assumir o papel da ONG, visto que este papel é um NPC (do inglês, *Non-Player Character*) na modelagem do estudo de caso e é obrigatório pelo menos um fiscal ambiental. No grupo Produtor, o agente pode assumir o papel de empresário ou agricultor, sendo no mínimo um agente para cada papel e, no caso do empresário, no máximo quatro, e do agricultor, no máximo seis. Por fim, o grupo Jogo deve conter pelo menos um grupo de cada um dos demais.

Este trabalho encontra-se em fase de definição da parte funcional da organização, por isso, nesta concepção foi considerada a parte da especificação estrutural da organização. Para a elaboração do entendimento desta especificação funcional, de quais são as

ações de cada um dos papéis e como as mesmas serão realizadas, considerou-se o grupo Regulador e seus respectivos papéis, Prefeito e Vereador. Os três operadores representados na Figura 3 fazem parte da especificação para apresentar como as ações podem ser realizadas se em sequência, ou seleção ou ainda em paralelo.

A Figura 3 representa parte da especificação funcional da organização considerando, num primeiro momento, quais são as ações de cada papel. O papel de Prefeito possui três missões: (M1) tomar medida, seja de consultar o saldo disponível na prefeitura ou medidas de prevenção (como: tratamento de água, de lixo ou de esgoto); (M2) alterar imposto, podendo diminuir, manter ou aumentar a taxa; e, (M3) negociar, ou seja, fornecer ou receber propina, salientando que esta negociação pode ocorrer entre quaisquer papéis da organização. O papel de Vereador possui duas missões: (M4) propor ao papel de Prefeito a alteração dos impostos, podendo diminuir ou aumentar esta taxa; e, (M5) negociar, seguindo a mesma ideia do papel de Prefeito.

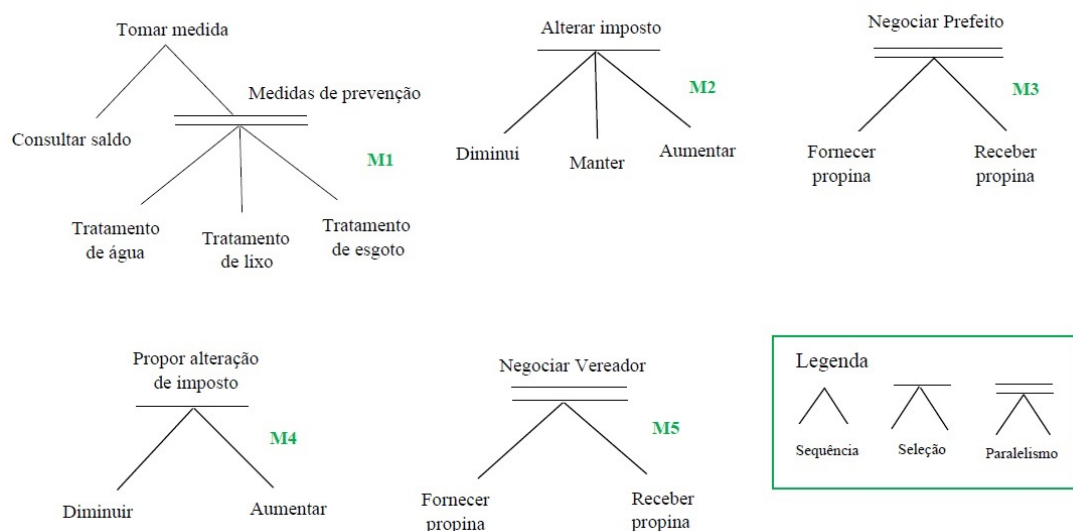


Figura 3. Parte da Especificação Funcional da Organização para o modelo proposto.

Observa-se na Tabela 1 o aspecto deôntico de cada papel especificado na coluna Tipo, os papéis de Prefeito e de Vereador. Os papéis se comprometem a realizar determinada missão, ou seja, têm obrigação de realizá-las ou o papel têm permissão para se comprometer ou não com determinada missão. As missões M1 e M2 do papel de Prefeito devem ser executadas e a missão M3 pode ser executada tanto para fornecimento ou recebimento de propina. As missões M4 e M5, correspondem ao papel de Vereador, onde este papel pode se comprometer ou não em executá-las.

É importante salientar que este artigo apresenta as primeiras percepções de como

Tabela 1. Parte da Especificação Normativa da Organização.

id	Papel	Tipo	Missão
n1	Prefeito	Obrigação	M1
n2	Prefeito	Obrigação	M2
n3	Prefeito	Permissão	M3
n4	Vereador	Permissão	M4
n5	Vereador	Permissão	M5

ocorrerá a modelagem da organização concebida em [Born et al. 2019a]. Por tratar-se de um sistema complexo, devido ao número de agentes, as ações e a sincronização destas no referido ambiente, suas especificações ainda não foram completamente definidas. Então, busca-se neste momento, o entendimento de como todo o sistema poderá ser modelado para posterior implementação.

5. Considerações e Trabalhos Futuros

Este trabalho apresentou a modelagem inicial de um sistema multiagente de uma organização no contexto de estudo dos recursos hídricos. O estudo de caso, no qual baseou-se este artigo, apresenta a definição da modelagem do sistema para a região da bacia hidrográfica da Lagoa Mirim e Canal São Gonçalo, através do diagrama de interação (Figura 1).

O sistema é composto por três grupos de agentes e as sessões de RPG, desenvolvidas até o presente o momento, auxiliam no entendimento do problema relacionado ao recurso hídrico da bacia e como os agentes interagem neste ambiente.

Ao longo dos anos, o gerenciamento de recursos naturais, neste caso especificamente o recurso hídrico, tem se mostrado com grande importância. Desta forma, a aplicação de SMA e de um *framework* que permita a especificação da organização do sistema e sua implementação de forma integrada, pode fornecer resultados promissores. A modelagem da organização deste estudo é complexa, devido aos inúmeros aspectos envolvidos, tais como: as especificações de todos os papéis que os agentes podem assumir devem ser bem definidas, bem como suas metas e relacionamentos, trocas de mensagens e ambiente.

Desta forma, a modelagem completa desta organização auxiliar  na implementação do SMA e o *framework* JaCaMo apresenta subsídios necessários para especificação, modelagem, implementação e simulação de cenários, permitindo um maior entendimento do problema em questão e de análise de estratégias tomadas pelos agentes do sistema quando assumem determinado papel.

Como trabalhos futuros, pretende-se estender esta modelagem inicial da organização no Moise+, bem como sua implementação e integração no *framework* JaCaMo.

Agradecimentos

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

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.
- Alvares, L. O. and Sichman, J. S. (1997). Introdução aos sistemas multiagentes. In *XVII Congresso da SBC-Anais JAI'97*.
- Artero, A. O. (2009). *Inteligência Artificial: Teoria e Prática*. Editora Livraria da Física, São Paulo/SP, 1a edition.
- Bellifemine, F. L., Caire, G., and Greenwood, D. (2007). *Developing multi-agent systems with JADE*, volume 7. John Wiley & Sons.
- Boissier, O., Bordini, R. H., Hübner, J. F., Ricci, A., and Santi, A. (2011). Multi-agent oriented programming with JaCaMo. *Science of Computer Programming*.
- Boissier, O., Hübner, J. F., and Ricci, A. (2016). The jacamo framework. In *Social coordination frameworks for social technical systems*, pages 125–151. Springer.
- Bordini, R. H., Hübner, J. F., and Wooldridge, M. (2007). *Programming multi-agent systems in AgentSpeak using Jason*, volume 8. John Wiley & Sons.
- 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.
- Born, M., Leitzke, B., Farias, G., Melo, M., Gonçalves, M., Rodrigues, P., Martins, V., Barbosa, R., Aguiar, M., and Adamatti, D. (2019a). 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*, pages 87–96, Belém/PA. SBC, sol.sbc.org.br.
- Born, M., Leitzke, B. S., Farias, G., Aguiar, M., and Adamatti, D. F. (2019b). Modelagem baseada em agentes para análise de recursos hídricos. In *Anais do XIII Workshop-Escola de Sistemas de Agentes, seus Ambientes e aplicações (WESAAC 2019)*, pages 107–118, Florianópolis/SC. wesaac.c3.furg.br.
- Brito, A. D., Lopes, J. C., and dos Anjos Neta, M. M. S. (2020). Tripé da governança: Poder público, setor privado e a sociedade civil em busca de uma gestão integrada dos recursos hídricos. *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, 8(4):506–522.
- Coppin, B. (2010). *Inteligência Artificial*. Rio de Janeiro: LTC, 3a edition.
- Filatova, T., Verburg, P. H., Parker, D. C., and Stannard, C. A. (2013). Spatial agent-based models for socio-ecological systems: Challenges and prospects. *Environmental modelling & software*, 45:1–7.
- Gaudou, B., Sibertin-Blanc, C., Therond, O., Amblard, F., Auda, Y., Arcangeli, J.-P., Balestrat, M., Charron-Moirez, M.-H., Gondet, E., Hong, Y., Lardy, R., Louail, T., Mayor, E., Panzoli, D., Sauvage, S., Sánchez-Pérez, J.-M., Taillandier, P., Van Bai, N., Vavasseur, M., and Mazzega, P. (2014). The MAELIA multi-agent platform for

- integrated analysis of interactions between agricultural land-use and low-water management strategies. In Alam, S. J. and Parunak, H. V. D., editors, *Multi-Agent-Based Simulation XIV*, pages 85–100, Berlin, Heidelberg. Springer Berlin Heidelberg.
- Hübner, J. F. (2003). *Um modelo de reorganização de sistemas multiagentes*. PhD thesis, Universidade de São Paulo.
- Hübner, J. F., Boissier, O., Kitio, R., and Ricci, A. (2010a). Instrumenting multi-agent organisations with organisational artifacts and agents. *Autonomous agents and multi-agent systems*, 20(3):369–400.
- Hübner, J. F., Bordini, R. H., and Vieira, R. (2004). Introdução ao desenvolvimento de sistemas multiagentes com jason. *XII Escola de Informática da SBC*, 2:51–89.
- Hübner, J. F., Sichman, J. S., and Boissier, O. (2002). Moise+ towards a structural, functional, and deontic model for mas organization. In *Proceedings of the first international joint conference on Autonomous agents and multiagent systems: part 1*, pages 501–502.
- Hübner, J. F., Sichman, J. S., and Boissier, O. (2007). Developing organised multiagent systems using the moise+ model: programming issues at the system and agent levels. *International Journal of Agent-Oriented Software Engineering*, 1(3/4):370–395.
- Hübner, J. F., Sichman, J. S., and Boissier, O. (2010b). Moise+ tutorial.
- Leitzke, B., Born, M., Farias, G., Melo, M., Gonçalves, M., Rodrigues, P., Martins, V., Barbosa, R., Aguiar, M., Adamatti, D. F., et al. (2019). Sistemas multiagente e jogos de papéis para gestão de recursos naturais. In *Anais do XIII Workshop-Escola de Sistemas de Agentes, seus Ambientes e aplicações (WESAAC 2019)*, pages 218–223, Florianópolis/SC. wesaac.c3.furg.br.
- Luger, G. F. (2013). *Artificial intelligence : structures and strategies for complex problem solving*. Addison-Wesley, Boston, Massachusetts, EUA, 6a edition.
- Nwana, H. S. (1996). Software agents: An overview. *The knowledge engineering review*, 11(3):205–244.
- Rezende, S. O. (2005). *Sistemas inteligentes: fundamentos e aplicações*. Editora Manole Ltda, Barueri/SP, 1a edition.
- Ricci, A., Piunti, M., and Viroli, M. (2011). Environment programming in multi-agent systems: an artifact-based perspective. *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*, 23(2):158–192.
- Russell, S. and Norvig, P. (2013). *Inteligência Artificial*. Elsevier Ltda, Rio de Janeiro/RJ, 3a edition.
- Taillandier, P. and Buard, E. (2009). Designing agent behaviour in agent-based simulation through participatory method. In Yang, J.-J., Yokoo, M., Ito, T., Jin, Z., and Scerri, P., editors, *Principles of Practice in Multi-Agent Systems*, pages 571–578, Berlin, Heidelberg. Springer Berlin Heidelberg.
- Thérond, O., Sibertin-Blanc, C., Lardy, R., Gaudou, B., Balestrat, M., Hong, Y., Louail, T., Nguyen, V. B., Panzoli, D., Sanchez-Perez, J.-M., Sauvage, S., Taillandier, P., Vavasseur, M., and Mazzega, P. (2014). Integrated modelling of social-ecological systems: The MAELIA high-resolution multi-agent platform to deal with water scarcity

problems. In *7th International Environmental Modelling and Software Society (iEMSs 2014)*, page pp. 1, San Diego, California, United States.

Thomasi, C. D. (2014). Orias: uma infraestrutura de nível micro-organizacional baseada em artefatos para sistemas multiagentes. Master's thesis, Programa de Pós-Graduação em Computação, UFRGS, Porto Alegre/RS.

Wooldridge, M. (2002). An introduction to multi agent systems, department of computer science, university of liverpool, uk.