



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE - FURG
CENTRO DE CIÊNCIAS COMPUTACIONAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM COMPUTAÇÃO
CURSO DE MESTRADO EM ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO

Dissertação de Mestrado

Modelo para a transferência de conhecimento em organizações de agentes: Um estudo de caso no Moise+

Paulo Felipe Gonzalez Lopez Rodrigues

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Computação da Universidade Federal do Rio Grande - FURG, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Computação

Orientador: Prof. Dr. Eder Mateus Nunes Gonçalves
Coorientadora: Profa. Dra. Diana Francisca Adamatti

Rio Grande, 2022

Ficha Catalográfica

R696m Rodrigues, Paulo Felipe Gonzalez Lopez.

Modelo para a transferência de conhecimento em organizações de agentes: um estudo de caso no Moise+ / Paulo Felipe Gonzalez Lopez Rodrigues. – 2022.

66 f.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande – FURG, Programa de Pós-Graduação em Computação, Rio Grande/RS, 2022.

Orientador: Dr. Eder Mateus Nunes Gonçalves..

Coorientadora: Dra. Diana Francisca Adamatti.

1. Organizações de Agentes 2. Transferência de Conhecimento
3. Modelo Moise+ I. Gonçalves, Eder Mateus Nunes II. Adamatti, Diana Francisca III. Título.

CDU 004:658

Catálogo na Fonte: Bibliotecário José Paulo dos Santos CRB 10/2344

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

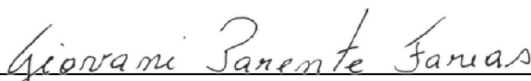
Modelo para a transferência de conhecimento em organizações de agentes: Um estudo de caso no Moise+

Paulo Felipe Gonzalez Lopez Rodrigues

Banca examinadora:



Prof. Dr. Cleo Zanella Billa



Prof. Dr. Giovanni Parente Farias



Prof. Dr. Jomi Fred Hübner



Prof. Dr. Eder Mateus Nunes Gonçalves
Orientador

Dedico esta dissertação de mestrado aos meus pais e a minha irmã.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Uma vida sem pensamento é totalmente possível, mas ela fracassa em fazer desabrochar sua própria essência – ela não é apenas sem sentido; ela não é totalmente viva. Homens que não pensam são como sonâmbulos.

— HANNAH ARENDT

RESUMO

RODRIGUES, Paulo Felipe Gonzalez Lopez. **Modelo para a transferência de conhecimento em organizações de agentes: Um estudo de caso no Moise+.** 2022. 66 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Computação. Universidade Federal do Rio Grande - FURG, Rio Grande.

Este trabalho está fundamentado nas áreas de agentes, sistemas multiagente, transferência de conhecimento, técnicas para a transferência e mais especificamente, modelos organizacionais de agentes. Verifica-se em diversas obras como são tratadas questões sobre o desenvolvimento de modelos organizacionais e a transferência de conhecimento.

A transferência de conhecimento possibilita o desenvolvimento de um SMA mais complexo, com agentes que transferem conhecimento para a realização de tarefas. Estes ambientes, que se formam a partir da transferência de conhecimento, implicam em agentes com determinados papéis, que raciocinam sobre o mundo e outros agentes ao seu redor, a formação de organizações, estas que transferem conhecimento a partir de planos e estratégias bem definidas e por fim, o surgimento de sociedades de agentes como um todo, regidas por políticas e normas.

Como contribuição para a área de sistemas multiagente, propõem-se a classificação de diferentes tipos de níveis e complexidades para a transferência de conhecimento, através de dimensões definidas como agentes, organizações e sociedades, elaborando um modelo organizacional para a transferência de conhecimento e a criação de um papel centralizador, neste contexto denominado de Organizador, que comanda as relações entre o sistema, os agentes e seus papéis. Um protocolo de interação é estabelecido para o modelo, determinando o passo a passo da comunicação do Organizador com os outros agentes do sistema, conforme é realizada a transferência de conhecimento.

Para a modelagem da transferência de conhecimento em organizações de agentes, é feito o uso do modelo organizacional Moise+, uma extensão do modelo Moise, que permite a verificação de estratégias, planos, ações e recursos dos agentes. O estudo de caso para este projeto é uma implementação dinâmica do Moise+, denominada MoiseLight, que viabiliza a construção de organizações em tempo de execução. Através da adaptação do modelo para o MoiseLight foi possível validar a proposta da pesquisa, com o Organizador realizando a transferência de conhecimento entre os agentes, em concordância com protocolo de interação.

Palavras-chave: Organizações de Agentes, Transferência de Conhecimento, Modelo Moise+.

ABSTRACT

RODRIGUES, Paulo Felipe Gonzalez Lopez. **Model for knowledge transfer in agent organizations: A case study on Moise+**. 2022. 66 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Computação. Universidade Federal do Rio Grande - FURG, Rio Grande.

This work is based on the areas of agents, multi-agent systems, knowledge transfer, transfer techniques and more specifically, organizational models of agents. It is verified in several works how questions about the development of organizational models and the transfer of knowledge are treated.

Knowledge transfer enables the development of a more complex MAS, with agents that transfer knowledge to perform tasks. These environments, which are formed from the transfer of knowledge, imply agents with certain roles, who reason about the world and other agents around them, the formation of organizations, which transfer knowledge from well-defined plans and strategies and finally, the emergence of societies of agents as a whole, governed by policies and norms.

As a contribution to the area of multi-agent systems, we propose the classification of different types of levels and complexities for the transfer of knowledge, through dimensions defined as agents, organizations and societies, elaborating an organizational model for the transfer of knowledge and the creation of a centralizing role, in this context called the Organizer, who commands the relations between the system, the agents and their roles. An interaction protocol is established for the model, determining the step-by-step communication between the Organizer and the other agents in the system, as the knowledge transfer takes place.

For the modeling of knowledge transfer in agent organizations, the Moise+ organizational model is used, an extension of the Moise model, which allows the verification of agents' strategies, plans, actions and resources. The case study for this project is a dynamic implementation of Moise+, called MoiseLight, which makes it possible to build organizations at runtime. By adapting the model to MoiseLight, it was possible to validate the research proposal, with the Organizer carrying out the transfer of knowledge between the agents, in accordance with the interaction protocol.

Keywords: agent organizations, knowledge transfer, Moise+.

LISTA DE FIGURAS

1	Os três níveis para a transferência de conhecimento.	15
2	Os tipos de Organização.	31
3	Exemplo de estrutura organizacional no modelo Moise.	32
4	Estrutura formal para a transição em Organizações.	37
5	Autonomia em Organizações de agentes.	39
6	Quatro casos para a transferência de conhecimento em modelos orga- nizacionais.	42
7	Modelagem computacional para a transferência de conhecimento em uma Organização de agentes.	44
8	Modelagem computacional para a transferência de conhecimento en- tre duas Organizações de agentes.	45
9	A especificação estrutural do <i>Soccer Team</i>	46
10	<i>Contract-Net Protocol</i> para a transferência de conhecimento em uma Organização de agentes.	49
11	<i>Contract-Net Protocol</i> para a transferência de conhecimento em duas Organizações de agentes.	51
12	Arquitetura BDI genérica.	53
13	A representação do <i>Soccer Team</i> nas dimensões do JaCaMo.	54
14	As etapas do protocolo de interação.	55
15	O Organizador escolhe o agente Paulo para a transferência de conhe- cimento.	56
16	O método de chamada para a transferência.	56
17	O Organizador envia o papel de atacante para o agente Paulo.	57
18	Os papéis dos agentes durante a execução do MoiseLight.	57
19	O console de execução do MoiseLight no JaCaMo.	58
20	Biblioteca de funções do modelo.	64
21	Código completo do Organizador.	65
22	Código dos agentes Paulo e Felipe.	66
23	Código da perspectiva JaCaMo.	66

LISTA DE TABELAS

1	O nível social.	24
2	Exemplo para os papéis de candidato a estudante e secretário.	33
3	Comparação entre o Moise e o Moise+.	35
4	Comparação das formas de Organização.	38
5	A classificação dos trabalhos relacionados.	41
6	O papel Organizador.	47

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BDI	<i>Belief-desire-intention</i>
ED	Especificação Deontica
EE	Especificação Estrutural
EF	Especificação Funcional
IA	Inteligência Artificial
MARL	<i>Multi-agent Reinforcement Learning</i>
MAS	<i>Multi-agent System</i>
OE	<i>Organizational Entity</i>
OS	<i>Organizational Structure</i>
RL	<i>Reinforcement Learning</i>
SMA	Sistema Multiagente
TL	<i>Transfer Learning</i>

SUMÁRIO

1	Introdução	14
1.1	Motivação	14
1.2	Objetivo	16
1.2.1	Objetivos Específicos	16
1.3	Estrutura do Trabalho	16
2	Referencial Teórico	17
2.1	Agentes e Sistemas Multiagente	17
2.2	Conhecimento	23
2.2.1	Conhecimento dos Agentes	23
2.2.2	Conhecimento em Organizações de Agentes	23
2.2.3	Conhecimento em Sociedades de Agentes	26
2.3	Transferência de Conhecimento	27
2.4	Estruturas para a representação de Agentes, Organizações e Sociedades	29
2.5	Modelos Organizacionais	32
2.5.1	Moise	32
2.5.2	Moise+	33
3	Trabalhos Relacionados	36
4	Metodologia	42
4.1	Modelos Organizacionais no Moise+	42
4.1.1	Soccer Team	46
4.2	O papel Organizador	47
4.3	Protocolo de Interação	48
5	Estudo de Caso: MoiseLight	52
5.1	JaCaMo	52
5.1.1	AgentSpeak(L) e BDI	52
5.1.2	Jason	53
5.1.3	CARTAGO	53
5.2	MoiseLight	55
6	Considerações Finais	59
6.1	Trabalhos Futuros	60
6.2	Limitações da Pesquisa	60

Referências	61
ANEXOS	
A Apêndice - Códigos AgentSpeak (L)	64

1 INTRODUÇÃO

Este trabalho apresenta um modelo para a transferência de conhecimento em nível organizacional de agentes, onde busca-se definir o que deve ser transferido e quais as estruturas de dados necessárias para isso, bem como os agentes habilitados a realizar essas interações e seus protocolos. Neste Capítulo está contida a motivação da pesquisa, em que estão presentes conceitos da área de sistemas multiagente, níveis para transferência de conhecimento, técnicas para a transferência, além de ferramentas utilizadas no desenvolvimento da proposta e um estudo de caso para a validação. Também faz parte deste capítulo o objetivo geral e os objetivos específicos da dissertação de mestrado, além da estrutura dos demais capítulos.

1.1 Motivação

Com a evolução da tecnologia, sistemas computacionais cada vez mais complexos foram desenvolvidos ao longo das décadas. Os sistemas multiagente são uma dessas evoluções, e o conceito de agentes, o comportamento, a racionalidade de agentes, as formas de interação e as trocas de conhecimento por meio dessas interações, são questões que se elencam a partir do surgimento desta área oriunda da inteligência artificial (MCARTHUR et al., 2007).

Um sistema multiagente é composto por um ou mais ambientes, e os agentes dispostos nestes mundos. Um agente deve ser projetado com uma ou mais metas e precisa realizar tarefas, individualmente, em conjunto ou antagonicamente, para alcançá-la. As ações tomadas por agentes alteram o ambiente em cena, algo que podemos relacionar a um cenário de um jogo digital, por exemplo. As ações de um agente visam a adaptação ao ambiente e suas mudanças (LESSER, 1999; MCARTHUR et al., 2007; GROVER et al., 2018).

Agentes inteligentes são autônomos e possuem a capacidade de percepção, de raciocinar sobre ações, de interação com outros agentes e decisão. Essas interações são definidas com base em uma linguagem comum estabelecida e nas metas de cada agente. O comportamento de um agente é regido pelo ambiente em sua volta e as atividades que podem ser

realizadas para a conclusão de objetivos (DEMAZEAU, 1995; MCARTHUR et al., 2007; TUYLS; STONE, 2017).

Tanto as atividades quanto as interações de agentes são restritas por normas e políticas de convenção social. Estas restrições definirão os níveis para a transferência de conhecimento entre agentes e a formação de organizações e sociedades em um ambiente (DEMAZEAU, 1995; SHOHAM; TENNENHOLTZ, 1995; HUHNS; STEPHENS, 1999).

O nível mais básico para a transferência de conhecimento é aquele em que ocorre a troca de informações direta entre os agentes, levando em consideração graus de credibilidade de um agente ao passar informações para outro, a capacidade de raciocínio de um agente e as metas e planos locais de cada agente. Em um nível superior, estão as chamadas organizações de agentes. Estas organizações serão as responsáveis por formular estratégias e planos globais para a resolução de problemas. Por fim, no topo desta hierarquia, as sociedades de agentes. As sociedades de agentes ocorrem a partir do conjunto de agentes e organizações, compostas por políticas e normas sociais. A cada nível há um aumento na semântica de dados a serem transferidos (COSTA, 2019).

A Figura 1 exemplifica a distribuição proposta sobre os diferentes níveis para a troca de conhecimento.

Figura 1: Os três níveis para a transferência de conhecimento.



(a) Fonte: Adaptado de Costa (2019).

Para a realização da transferência de conhecimento em sistemas multiagente, algumas técnicas como *Transfer Learning* - TL (Aprendizado por Transferência) e *Reinforcement Learning* - RL (Aprendizado por Reforço) são empregadas e podem ser encontradas em quantidade na literatura. A transferência de conhecimento mostra-se importante pois impacta no quão bem um agente consegue concluir suas atividades, e no grau de complexidade atribuído a este ator. Um agente em um ambiente desconhecido, aprende com outro agente ao trocar conhecimentos/políticas (LIANG; LI, 2020).

A partir destes tópicos escolheu-se como contexto para esta pesquisa, o nível organizacional para a transferência de conhecimento. Diversos autores classificam variados tipos de organizações em sistemas multiagente, com a maioria determinando-as de

forma centrada nos agentes ou nas organizações (LEMAÎTRE; EXCELENTE, 1998 apud HÜBNER, 2003).

O Moise+ é o modelo organizacional selecionado para validação da modelagem proposta. O modelo trabalha a partir de uma estrutura formada da relação entre os papéis dos agentes, através de um conceito denominado nível social, além das tarefas e responsabilidades, nomeadas de nível individual (HÜBNER, 2003). Como estudo de caso, optou-se pelo MoiseLight. O MoiseLight é uma implementação dinâmica em desenvolvimento do Moise+, que constrói a organização em tempo de execução (HÜBNER, 2022). Para fins de testes é utilizada a plataforma JaCaMo. O JaCaMo é um *framework* composto pela linguagem de programação em agentes Jason, o ambiente para programação CArtaGO e o Moise+ para a implementação de modelos organizacionais (BOISSIER et al., 2020).

A modelagem computacional de diferentes casos para a transferência de conhecimento na dimensão das organizações é tida como a principal contribuição para a área de sistemas multiagente e a motivação deste trabalho como um todo.

1.2 Objetivo

Modelar estruturas para transferir conhecimento através de estratégias compostas por conceitos organizacionais e seus protocolos de interação.

1.2.1 Objetivos Específicos

- Abordar e modelar os diferentes níveis para a transferência de conhecimento em agentes, apoiando-se na revisão teórica realizada acerca do tema;
- Implementar as estruturas organizacionais no Moise+ para validar a transferência de conhecimento proposta.

1.3 Estrutura do Trabalho

Essa dissertação de mestrado está estruturada em seis capítulos. O Capítulo dois contém uma revisão da literatura, com a explicação de estruturas para a representação das dimensões de agentes, organizações e sociedades, para a transferência de conhecimento e o modelo Moise+. O Capítulo três é dedicado a trabalhos relacionados da área, com uma descrição das técnicas empregadas para a transferência de conhecimento em cada obra. No Capítulo quatro a metodologia de trabalho é exposta, com a elaboração de um modelo organizacional para os possíveis casos de transferência de conhecimento, considerando respectivas complexidades e um protocolo de interação. No Capítulo cinco é explicado o estudo de caso, o MoiseLight, para a validação do modelo organizacional proposto, além de definições gerais sobre o JaCaMo. No Capítulo seis são apresentadas as considerações finais. No Apêndice A se encontram os códigos AgentSpeak(L) do MoiseLight.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste Capítulo são apresentadas referências na literatura de agentes, sistemas multiagente, transferência de conhecimento, observando as dimensões de agentes, organizações e sociedades, e modelos organizacionais, para o embasamento teórico da pesquisa.

2.1 Agentes e Sistemas Multiagente

Os sistemas multiagente desde o seu surgimento na década de 1980, vêm sendo considerados como sociedades de agentes, ou seja, um conjunto de agentes que interagem a fim de coordenarem seu comportamento e atingirem os objetivos de maneira coletiva. Desta forma, a maioria das pesquisas na área de sistemas multiagente precisa considerar tanto os agentes quanto as sociedades (FERBER; GUTKNECHT; MICHEL, 2003).

Um sistema multiagente pode ser definido como um sistema que possui dois ou mais agentes inteligentes. Por mais de dez anos, sistemas multiagente foram utilizados na engenharia eletrotécnica. Entretanto, nos últimos tempos, um SMA passou a ser empregado em aplicações que incluem diagnósticos, monitoramento de condições, restauração de sistemas de energia, simulações de mercado, *network control* e automação. Com a constante evolução da tecnologia, os primeiros sistemas deste tipo migraram de laboratórios para uma utilização em setores como os da indústria, permitindo um ganho de experiência pela mesma e aumento de sua efetividade (MCARTHUR et al., 2007).

Ao modelarmos agentes autônomos em um mundo multiagente, subentende-se que a parte operacional de como a solução é encontrada, bem como a forma pela qual a solução é alcançada, serão assumidas pelo próprio sistema multiagente e não por quem o concebeu ou pelo usuário final. Esta abordagem é chamada de paradigma da programação orientada à agentes. Ao separarmos a semântica declarativa da semântica operacional, podemos considerar o paradigma da programação orientada à agentes como uma evolução natural da programação orientada à objetos (DEMAZEAU, 1995).

Objetos tornam-se agentes quando estão associados a capacidade de percepção, comunicação, raciocínio e decisão. Tais capacidades permitem aos agentes processarem autonomamente a informação para resolver um problema e o sistema a ser simulado, além

da informação relativa a outros agentes, ao domínio e ao idealizador/utilizador. Demazeau (1995) categoriza os sistemas multiagente em diferentes níveis:

- O primeiro nível em que estão os agentes, ou seja, modelos ou arquiteturas de agentes que variam de autômatos simples a agentes complexos baseados em conhecimento;
- Os ambientes, estes que por sua vez são dependentes do domínio;
- As estruturas de interação e as linguagens, que variam de acordo com as interações físicas e atos de fala;
- E por fim as organizações de agentes, que podem ser dinâmicas inspiradas em estudos biológicos ou organizações rígidas baseadas em leis sociais, inspiradas em estudos sociológicos.

Para resolver um determinado problema - como simular algum sistema - o usuário escolhe os modelos de agentes, os ambientes, as interações e os modelos de organizações a serem instanciados. A especialização destas ferramentas no contexto do problema e no domínio da aplicação, permite a construção de sistemas multiagente computacionais (DEMAZEAU, 1995).

Demazeau (1995) elabora três asserções para o tratamento de agentes. A primeira, denominada equação declarativa, de um ponto de vista computacional, é composta pelos agentes, pelas interações entre os agentes e o ambiente, e o tipo de organização que estão inseridos. Os valores resultantes da atuação destes agentes no mundo, geram uma inteligência coletiva, sendo esta a segunda afirmação, chamada de equação funcional. Na última afirmação, ao procurar compreender o que é a programação orientada à agentes e os agentes resultantes da mesma, obtemos sociedades de agentes constituídas por agentes mais robustos em um nível mais alto de abstração. Esta última afirmação, é determinada pelo chamado princípio da recursão. As três asserções desenvolvidas pelo autor são:

A equação declarativa:

$$SMA : Agentes + Ambiente + Interações + Organização \quad (1)$$

A equação funcional:

$$Função(SMA) : \sum Função(Agentes) + FunçãoColetiva \quad (2)$$

O princípio da recursão:

$$Um SMA precisa ser considerado um agente em um nível superior \quad (3)$$

Agentes racionalmente inteligentes raramente agem de forma isolada, buscando atingir seus objetivos em comum através de interações com outros atores. As interações realizadas entre agentes resultam em comportamentos mais complexos, que desencadeiam políticas em sistemas multiagente. Dependendo das motivações definidas para cada ator, essas interações podem levar a um mesmo objetivo alcançado de maneira colaborativa, um confronto entre agentes em um cenário competitivo, ou em uma mistura de ambos em que agentes colaboram para vencer uma competição contra outro grupo (GROVER et al., 2018).

As interações acontecem entre agentes, e entre os agentes e o ambiente. Estas interações e as linguagens compreendem desde interações baseadas em físicas a atos de fala. Modelos baseados em física, como o eletrostático, permitem expressar reações simplórias através de mecanismos de atração ou repulsão, sendo um modelo constantemente utilizado para agentes reativos. Tal forma de interação é realizada via comunicações entre os agentes e o ambiente, embora agentes reativos não raciocinem completamente e não possuam grandes estruturas para conversação (DEMAZEAU, 1995; FROZZA, 1997).

Para Demazeau (1995), ainda não existe uma forma definitiva de como comunicações devem ser realizadas em sistemas multiagente. Para diferenciar o nível que trabalhamos em sistemas multiagente, com agentes em uma camada de maior abstração, de sistemas distribuídos, é comum utilizar o termo interação ao invés de comunicação. Protocolos de comunicação/interação precisam ser definidos entre os agentes, considerando o emissor da mensagem e o receptor, o quanto de acesso ambos possuem da arquitetura estabelecida para o sistema, além da compreensão das intenções de cada um. As mensagens compartilhadas pelos agentes devem considerar o emissor e o receptor, e transmitir tons de informação, busca, conselho, expressão, negociação, aviso, persuasão ou comando. Estas mensagens enviadas necessitam estar bem estruturadas e obedecerem a restrições impostas, a fim de facilitar a interpretação das mesmas. Caso contrário, será impossível realizar a interação dos agentes. Essas conversações podem realizar a troca de conhecimento (ou hipóteses), soluções (ou planos) e escolhas (ou ações). Com a comunicação efetuada, o agente deve conseguir extrair informações e conhecimentos que serão úteis e impactarão a sociedade que estão inseridos.

A troca de conhecimento entre os agentes será realizada partindo de um certo grau de significado contido na mensagem enviada, dependendo do grau de complexidade da linguagem multiagente, que por sua vez é dependente da linguagem de aplicação. Para atingir um certo nível de normalização das interações e linguagens, o reconhecimento deste conhecimento está ligado ao domínio da aplicação, ou seja, o domínio de conhecimento da aplicação (DEMAZEAU, 1995).

Huzita, Oliveira e Laine (2000) afirmam que agentes inteligentes, ao contrário de programas de software, possuem características especiais que os destacam, como o raciocínio

e a aprendizagem, atuando de forma autônoma. Embora não exista uma definição universal do tema, agentes podem ser classificados para Brenner, Wittig e Zarnekow (1998 apud HUZITA; OLIVEIRA; LAINE, 2000) como:

- Reativos: agentes respondem a mudanças ocorridas no ambiente;
- Proativos: agentes tomam iniciativas para atingir seus objetivos;
- Autônomos: agentes conseguem realizar suas tarefas sem a interferência do usuário;
- Móveis: agentes buscam recursos em outras áreas ou a ajuda de outros agentes (cooperação), para realização de atividades;
- Comunicativos: para trabalhar em cooperação, agentes necessitam trocar mensagens entre si, através de uma linguagem comum;
- Benevolentes: um agente não pode realizar uma tarefa para outro agente que coloque em risco seu próprio objetivo.

Lesser (1999) caracteriza agentes como benevolentes (ou cooperativos) e individualistas. Agentes cooperativos atuam em conjunto para atingir metas e objetivos, já agentes individualistas possuem objetivos próprios e distintos (embora possam interagir para progredirem). Em resumo, agentes que agem de forma individual podem, através da troca por recursos de diferentes naturezas, coordenarem suas ações em conjunto, providenciando assistência uns aos outros em suas diferentes metas.

Ainda segundo Lesser (1999), fazer com que agentes interativos cooperem de forma eficaz é um dos principais desafios tratando-se de sistemas multiagente cooperativos, onde os subproblemas apresentados a agentes nestes sistemas são considerados interdependentes. Estes subproblemas são decompostos em duas situações para atingir uma solução definitiva. Na primeira situação de interdependência, subproblemas são iguais ou se decompõem, mas agentes distintos possuem métodos ou dados que podem gerar uma solução. Já a segunda situação ocorre quando dois subproblemas fazem parte de um problema maior, com uma solução que necessita da existência de certas restrições para a resolução destes subproblemas. Um exemplo trazido pelo autor para elucidar essa questão, é o desenvolvimento do design de um artefato, em que cada agente é o responsável pelo design de um componente diferente (subproblema), estando obrigados a respeitarem restrições impostas pelo design geral do artefato.

Dependendo da interdependência, um sistema multiagente pode tornar-se muito complexo, e exigir um diálogo de várias etapas semelhante a uma corrotina assíncrona do tipo de interação. Subproblemas interdependentes impactam a forma como agentes interagem entre si, com um subproblema de um agente podendo afetar o subproblema de

outro, ou que a resolução de um subproblema seja afetada pela resolução de um anterior. Ao trabalharem de forma cooperativa, agentes, programados com diferentes algoritmos, conseguem resolver estes subproblemas mais rapidamente e promovem uma solução de alto nível (LESSER, 1999).

Esses tipos de interação influenciam na coordenação de decisões que serão tomadas pelos agentes, levando em consideração fatores sobre quais hipóteses de diagnóstico devem ser comunicadas e quão confiáveis e precisas essas hipóteses são para serem encaminhadas a outro agente. Também é necessário definir quais áreas serão focadas para determinar o diagnóstico da resolução de subproblemas. Algumas métricas necessárias para a coordenação de decisões são (LESSER, 1999):

- Reconhecer quando outros agentes estão trabalhando em subproblemas de interação;
- Especificar quais agentes podem e devem solucionar um subproblema;
- Decidir se, quando e como resolver um subproblema.

Todas as definições sobre o que é um agente (a noção de um agente em si, seu ambiente e sua autonomia) convergem em um certo ponto, de acordo com McArthur et al. (2007). O ambiente é simplesmente tudo que seja externo ao agente, com parte dele sendo observável ou alterável pelo agente. Esse ambiente pode ser físico (sistemas de energia) e verificável através de sensores, ou computacional (fontes de dados, recursos e outros agentes) observável via chamadas de sistema, programas e mensagens. O ambiente pode ser alterado pelo agentes a partir de certas ações, sejam elas físicas ou computacionais.

A separação de um agente do ambiente, implica em sua inerente distribuição no sistema. Colocar inúmeras cópias de um mesmo agente em diferentes mundos, não afetará as capacidades de raciocínio de cada agente e os objetivos que foram projetados para serem alcançados. Embora, algumas ações possam divergir por conta de diferentes observações feitas pelos agentes em dois ambientes, por exemplo. Isso significa que um agente consegue operar em qualquer ambiente que lhe forneça suporte para realizar suas tarefas (MCARTHUR et al., 2007).

Lesser (1999) define sistemas multiagente como ambientes computacionais em que agentes interagem ou trabalham de forma cooperativa para satisfazer seus objetivos. Estes ambientes podem ser heterogêneos ou homogêneos, considerando um agente disposto em um sistema como um objeto resolvidor de problemas, com certo grau de autonomia. Para o autor, a autonomia de um agente está diretamente relacionada a sua habilidade de efetuar decisões para a realização de atividades. Um agente deve decidir quais atividades executar, como e quando executá-las, o que comunicar com outros atores e como absorver as informações obtidas destas interações.

A autonomia de um agente pode ser delimitada em sua confecção, ou por dinâmicas ocorridas em organizações de agentes, que determinam quais políticas seus atores devem realizar em um certo período de tempo. Muito associada com a autonomia de um agente, está a sua capacidade de adaptação. Quanto maior sua autonomia, mais capaz este agente é de resolver problemas no contexto que está inserido. Tanto a autonomia quanto a adaptabilidade, estão associadas ao grau de inteligência e complexidade de um sistema multiagente (LESSER, 1999).

É necessário saber e definir bem como agentes e sistemas multiagente diferem de sistemas existentes ou abordagens da engenharia de sistemas. Por exemplo, na engenharia, um relé de proteção poderia ser considerado um agente pois está situado em um ambiente, como sistemas de energia, reage a mudanças neste ambiente e altera sua voltagem, e também possui um certo grau de autonomia (MCARTHUR et al., 2007).

Para diferenciar um SMA de outros tipos de sistema, McArthur et al. (2007) elencam três características existentes em um agente inteligente, que é definido como um agente que possui uma autonomia flexível:

- Reatividade: um agente inteligente reage a mudanças ocorridas no ambiente e realiza ações baseadas nestas mudanças;
- Pró-atividade: agentes inteligentes alteram seu comportamento em virtude dos objetivos;
- Habilidade social: um agente inteligente é capaz de comunicar-se com outro agente, o que é algo mais complexo que a simples transmissão de dados entre agentes. É a capacidade de negociar e interagir de forma cooperativa. Esta habilidade é regida por uma linguagem comum entre os agentes.

Jennings (2000) argumenta que os métodos atuais para o desenvolvimento de sistemas multiagente, que resolvam problemas do mundo real, estão na direção certa. Embora quanto a desenvolver a complexidade destes sistemas distribuídos, eles ocasionam em dois tipos de falhas:

- As interações entre as entidades computacionais é rigidamente definida em demasia;
- Os mecanismos disponíveis para representar as estruturas organizacionais são insuficientes.

Para resolver este impasse, são elencadas duas hipóteses. Uma chamada a Hipótese da Adequação, em que as abordagens de agentes podem aumentar sua habilidade de modelar e construir complexidade. E a Hipótese do Estabelecimento, que após conseguir construir sistemas complexos, a abordagem de agentes terá sucesso como um paradigma para a engenharia de software (JENNINGS, 2000).

2.2 Conhecimento

O termo conhecimento é definido informalmente como um todo e de forma técnica tratando-se do campo da inteligência artificial, embora termos como engenharia de conhecimento e fontes de conhecimento sejam mais comumente encontrados. Um sistema de IA que possua e utilize estruturas de dados que contenham objetos e processos por exemplo, pode ser classificado como um sistema representativo de conhecimento, sendo esta representação um dos principais problemas nesta área de estudo (NEWELL, 1982).

2.2.1 Conhecimento dos Agentes

Newell (1982) elabora o conceito de nível de conhecimento, *knowledge level*, para a representação do mesmo. O nível de conhecimento é composto por agentes, que representam um sistema, onde seus componentes são os objetivos, ações e os respectivos corpos. Um agente em si é composto por estas partes. Os processos dos agentes devem determinar quais decisões serão tomadas pelos atores. A divisão é realizada da seguinte forma:

- Primeiramente o nível do sistema, sendo este o agente;
- Em um nível intermediário, o conhecimento. Através dele, os agentes podem determinar quais ações são apropriadas em situações específicas;
- No último nível, em relação as leis de comportamento, está o princípio da racionalidade, onde são selecionadas ações para atingir os objetivos gerados pelo comportamentos dos agentes.

De acordo com Newell (1982), o conhecimento é intimamente ligado a racionalidade. Segundo o autor, sistemas com agentes capazes de emularem certo grau de racionalidade podem ser classificados como possuidores de conhecimento. Este conhecimento é capaz de realizar ações para alcançar objetivos.

2.2.2 Conhecimento em Organizações de Agentes

Conforme Demazeau (1995), as organizações de agentes podem ser dinâmicas, inspiradas em estudos biológicos, ou mais rígidas, inspiradas em leis sociais e baseadas em estudos sociológicos. As trocas de informação e conhecimento entre os agentes, afetarão o domínio da aplicação como um todo e a organização em questão.

Jennings (2000) com base no *knowledge level*, elabora a proposta para um *social level*, ou nível social, em organizações de agentes. A Tabela 1 é uma síntese desta definição.

O sistema é uma entidade a nível de computador. Do ponto de vista do nível de conhecimento, é um agente associal. Para o nível social, é um agente da organização, ou seja, um grupo de agentes que possuem variadas relações entre si (JENNINGS, 2000).

Tabela 1: O nível social.

Dimensão	Descrição	<i>Knowledge level</i>	<i>Social level</i>
Sistema	Entidade a ser descrita	Agente associat	Organização de Agente
Componentes	Elementos primitivos do sistema	Objetivos Ações	Agentes Canais de interação Dependências Relações organizacionais
Composição	Montagem de componentes	Vários	Papéis Regras da Organização
Comportamento	Depende da composição e componentes	Princípio da Racionalidade	Princípio da Racionalidade organizacional
Meio	Elementos a serem processados	Conhecimento	Obrigações organizacionais e sociais Como influenciar Como alterar a estrutura organizacional

(a) Fonte: Adaptado de Jennings (2000).

Os componentes são os elementos utilizados na construção do sistema. Para o nível de conhecimento, é um agente definido pelos objetivos que precisa atingir e as ações para realizar estes objetivos. No nível social, a organização é composta pelos agentes, os vários canais pelos quais os agentes conseguem comunicar-se um com o outro, as dependências que existem, como o compartilhamento de recursos no ambiente e os objetivos que cada agente precisa cumprir e por fim, as relações criadas pela organização, como de competição ou cooperação entre os agentes (JENNINGS, 2000).

As leis de composição definem como os componentes serão empregados na construção do sistema. No nível de conhecimento é definido que os objetivos e ações de agentes podem ser organizados de diversas maneiras. Já no nível social, os componentes são empregados de acordo com os papéis do sistema e das regras da organização. Os papéis, assumidos por um ou múltiplos agentes, têm como finalidade definir os objetivos que os agentes podem realizar, indicar as relações organizacionais resultantes, definir canais de interação e ditar padrões de troca. As regras da organização por sua vez definem quais agentes podem adotar determinados papéis e quais as condições para tal. Também compreendem o que deve acontecer se os papéis forem modificados ou atualizados, e como conflitos entre diferentes papéis devem ser resolvidos (JENNINGS, 2000).

As leis de comportamento especificam como o comportamento do sistema depende das leis de composição e os componentes. Para o nível de conhecimento, este é o princípio da racionalidade, que define que se um agente tem em sua base de dados o conhecimento

que uma de suas ações levará a conclusão de um de seus objetivos, o agente adotará essa ação. No nível social, o comportamento da organização depende de quais papéis são empregados e do quanto as regras da organização são cumpridas, ocasionando o princípio da racionalidade organizacional. Este princípio da racionalidade organizacional indica como o coletivo de agentes irá se comportar na prática (JENNINGS, 2000).

Jennings (2000) explica que o meio representa os elementos que são processados para obter o comportamento desejado. No nível do conhecimento, um agente processa conhecimento em ordem de poder atingir seus objetivos. Para o nível social, as organizações processam três tipos principais de elemento. Primeiramente, as obrigações organizacionais e sociais para os agentes. Em segundo, os vários mecanismos e estruturas disponíveis para os componentes da organização influenciarem o comportamento. O último elemento são os vários meios que estão disponíveis para modificar a estrutura organizacional.

O conhecimento em nível organizacional pode ser qualificado como aquele referente à realização de tarefas, atribuição de papéis e ao desenvolvimento de relacionamentos em uma determinada organização, como a relação entre uma autoridade e seus subordinados (TAKADAMA; TERANO; SHIMOHARA, 2000).

Para Ferber, Gutknecht e Michel (2003), as principais funcionalidades de uma organização são:

- A organização é constituída de agentes que manifestam um comportamento;
- A organização geral pode ser particionada em grupos;
- O comportamento dos agentes está relacionado as atividades da organização, onde se faz presente o conceito de papel. Um papel é uma descrição do comportamento de agentes. Ele possui as obrigações, requisitos e habilidades que um agente necessita para obter um papel em uma organização, e os benefícios, como habilidades, autorização ou lucro, que um agente obtém por desempenhar um papel, além das responsabilidades atreladas a um papel. Um papel também descreve as interações que um agente precisa executar;
- Os agentes estão empregados em relacionamentos dinâmicos, ou atividades, através de uma sistemática de papéis e tarefas ou protocolos;
- Os tipos de comportamento estão associados aos relacionamentos entre os papéis, as tarefas e os protocolos.

Em seu trabalho, Takadama, Terano e Shimohara (2000) separam o conhecimento organizacional em três níveis para a determinação de papéis dos agentes, propondo a criação de um *framework* para tal:

- Nível organizacional de conhecimento grosseiramente estruturado: os papéis dos agentes não são completamente determinados;

- Nível organizacional de conhecimento moderadamente estruturado: os papéis dos agentes são parcialmente determinados;
- Nível organizacional de conhecimento bem estruturado: os papéis dos agentes são completamente determinados utilizando este nível de conhecimento.

Para Ferber, Gutknecht e Michel (2003) a organização pode ser vista em dois níveis: O nível organizacional (ou social) e o nível concreto (dos agentes). A estrutura organizacional é o que persiste quando indivíduos ou componentes entram ou saem da organização, definindo as organizações no nível organizacional. Já a organização concreta, no nível do agente, é uma possível instanciação de uma estrutura organizacional.

Uma organização consiste em dois aspectos, o aspecto estrutural e o aspecto dinâmico. O aspecto estrutural é composto por uma estrutura de particionamento e uma estrutura de papel. A estrutura de particionamento indica como os agentes são colocados em grupos e como estes grupos se relacionam. A estrutura do papel é determinada, para cada grupo, pelo conjunto de papéis e suas relações. Já o aspecto dinâmico da organização está relacionado aos padrões de interação definidos com os papéis (FERBER; GUTKNECHT; MICHEL, 2003).

De acordo com Ferber, Gutknecht e Michel (2003), o aspecto dinâmico também define:

- As modalidades para criar, destruir, entrar em grupos e atuar em papéis;
- Como estas modalidades serão aplicadas e como as obrigações e permissões são concedidas;
- Como a estrutura de particionamento e a estrutura de papéis estão associadas aos comportamentos dos agentes.

2.2.3 Conhecimento em Sociedades de Agentes

Quando trabalhamos com inúmeros agentes em um único ambiente, a complexidade do sistema aumenta consideravelmente, inviabilizando manipular esses atores de maneira individual. Para a solução deste problema, deve-se observar os agentes do ponto de vista de uma sociedade multiagente, mais facilmente controlável e operacional (HUHNS; STEPHENS, 1999).

Em uma sociedade de agentes, os atores ocuparam os papéis de administradores, tomadores de decisão, associações, cidadãos, entre outros, com problemas a serem resolvidos do tipo ecológico ou econômico por exemplo. Estas sociedades, por sua vez, serão regidas por leis sociais. Os protocolos de interação estabelecidos são fundamentais para uma transmissão correta e compreensão de informações e conhecimentos, que impactarão a sociedade multiagente (DEMAZEAU, 1995).

Podemos caracterizar as sociedades de agentes como sistemas multiagente abertos, organizados, persistentes e situados, onde, de acordo com Costa (2019):

- Aberto: significa que os atores sociais (agentes, unidades organizacionais) da sociedade podem entrar e sair livremente dela;
- Organizado: o funcionamento da sociedade é baseado em uma articulação de comportamentos e interações de atores sociais, as interações (ou seja, os processos de troca) são realizadas por atores sociais individuais e grupos de atores sociais de vários tipos;
- Persistente: significa que a organização da sociedade persiste no tempo, independentemente (até certo grau) dos atores sociais que entram ou saem da sociedade;
- Situado: a sociedade existe e opera em um ambiente definido, envolvendo objetos físicos e simbólicos, dos quais os atores sociais e grupos podem fazer uso na execução de seus comportamentos e processos de troca.

Żytniewski et al. (2015) elaboram uma metodologia de trabalho que utiliza conceitos de processamento de negócios, dividida em oito estágios, para o tratamento do conhecimento em sociedades de agentes:

- Análise e desenvolvimento do processo de negócios (por exemplo, a definição das organizações, das tarefas e a ordem em que elas devem ser completadas);
- Identificação dos recursos na sociedade de agentes;
- Análise dos papéis e responsabilidades de cada agente na sociedade;
- Definição de uma hierarquia de relacionamento dentro da sociedade;
- Definição do nível de conhecimento em sociedades de agentes;
- Uma definição preliminar da arquitetura interna de agentes;
- A definição completa da arquitetura dos agentes;
- Design e interação dos agentes.

2.3 Transferência de Conhecimento

A transferência de conhecimento é um método para o aprendizado de uma nova tarefa em um novo ambiente. Em sistemas multiagente quando um agente não conhece o ambiente em que está inserido e busca aprender para aumentar suas recompensas, ele se beneficia ao trocar conhecimento com outro agente mais experiente (LIANG; LI, 2020).

Hu, Gao e An (2015) definem três mecanismos para a transferência de conhecimento:

- O primeiro é chamado função de valor, responsável por transferir de forma direta as funções de valor local dos agentes para o algoritmo de aprendizagem;
- O segundo é onde realiza-se a seleção da função de valor, que transfere conhecimento quando a dinâmica do ambiente se altera;
- O último mecanismo é uma abstração baseada em jogos, para a transferência de conhecimento, que melhora o desempenho dos dois mecanismos anteriores a cada estado.

Reinforcement Learning (RL), ou Aprendizado por Reforço, é uma técnica popular e flexível para o treinamento de agentes autônomos e transferência de conhecimento, tratando-se de um *framework* bastante empregado em problemas referentes a tomada de decisão. Consiste basicamente de ações aplicadas em um ambiente comum, observando-se o quão boa uma ação se prova em diferentes situações (SILVA, 2019; LIANG; LI, 2020).

Todavia, as abordagens clássicas de RL necessitam de demasiadas interações dos agentes com o ambiente, para o aprendizado de como resolver tarefas, o que pode resultar em um grande custo computacional caso estejam dispostos muitos agentes com muitas tarefas no mesmo mundo, com os agentes errando várias vezes até acertarem em como resolver suas atividades. Esses problemas de escalabilidade intensificam-se em sistemas multiagente, pois o tomador de decisões precisará raciocinar sobre os outros agentes no mundo (SILVA, 2019).

A *Transfer Learning* (TL), ou Aprendizado por Transferência, incrementa o aprendizado através da experiência obtida em tarefas relacionadas, em algo chamado reutilização de conhecimento. Os algoritmos atuais de Aprendizado por Transferência foram bem sucedidos em transferir conhecimento de tarefas anteriores para uma nova, entretanto estes algoritmos necessitam da interferência de um humano para a ligação entre a base de conhecimento e a tarefa. Mesmo obtendo desempenho efetivo em alguns casos, esses métodos de *Transfer Learning*, que dependem de informações fornecidas previamente, são incapazes de agir autonomamente (TAYLOR; KUHLMANN; STONE, 2008; LIANG; LI, 2020).

Algoritmos de TL que atuam de forma autônoma conseguem aprender automaticamente as relações contidas em diferentes tarefas, possibilitando a transferência em situações que os humanos são incapazes de interferir. Taylor, Kuhlmann e Stone (2008) afirmam que para um algoritmo de Aprendizado por Transferência ser autônomo, ele deve:

- Selecionar de maneira correta uma tarefa base;
- Aprender como a tarefa base e a fornecida estão relacionadas;

- Transferir o conhecimento da tarefa base para a realização da tarefa fornecida.

O objetivo principal ao se reutilizar o conhecimento é acelerar o aprendizado. Um exemplo de Aprendizado por Transferência é aprender espanhol antes de estudar português, o que torna a compreensão da nova linguagem mais rápida e fácil do que um outro idioma qualquer. Sobre *Reinforcement Learning*, a *Transfer Learning* ao longo dos anos conseguiu escalonar o processo de aprendizado tanto em ambientes de domínio único quanto em multiagentes (SILVA, 2019).

2.4 Estruturas para a representação de Agentes, Organizações e Sociedades

Costa (2019) distingue a estruturação das Sociedades de Agentes, que supomos operar em toda uma sociedade, das Organizações de Agentes, que operam sob uma organização em uma sociedade, através do vínculo chamado de micro-macro social, que impõem requisitos as sociedades, em contraponto ao vínculo micro-macro organizacional, que impõem requisitos as estruturas organizacionais.

Uma sociedade de agentes é definida pela seguinte tupla (COSTA, 2019):

$$Ag_{Soc} = (Pop, Org, M_{Env}, S_{Env}, Imp) \quad (4)$$

Segundo Costa (2019), *Pop* é a estrutura populacional da sociedade, ou seja, o conjunto de agentes que a inibem, juntamente com seus comportamentos e processos de troca. Já *Org*, como estrutura organizacional da sociedade, pode ser definida como:

$$Org = (Org_{\omega}, Org_{\mu}, Org_{\Omega}) \quad (5)$$

- *Org_ω*: é a estrutura micro organizacional, ou seja, o conjunto de papéis sociais que os agentes da sociedade podem cumprir, juntamente com os comportamentos e processos de troca que esses papéis sociais podem desempenhar;
- *Org_μ*: é a estrutura meso organizacional, ou seja, o conjunto de unidades organizacionais que se constroem (possivelmente de forma hierarquicamente recursiva) com base nos papéis sociais do nível micro organizacional, juntamente com os comportamentos e processos de troca que essas unidades organizacionais podem funcionar;
- *Org_Ω*: é a estrutura macro organizacional, ou seja, o conjunto de subsistemas sociais que se constroem (possivelmente de forma hierarquicamente recursiva) a partir das unidades organizacionais do nível meso organizacional, juntamente com os comportamentos e processos de trocas sociais que esses subsistemas sociais podem funcionar.

M_{Env} é o ambiente material da sociedade, ou seja, o conjunto de objetos materiais que os agentes, unidades organizacionais e subsistemas sociais podem utilizar para realizar seus comportamentos e processos de troca. S_{Env} é o ambiente simbólico da sociedade, ou seja, o conjunto de objetos simbólicos que os agentes, unidades organizacionais e subsistemas sociais podem utilizar para realizar seus comportamentos e processos de troca (COSTA, 2019).

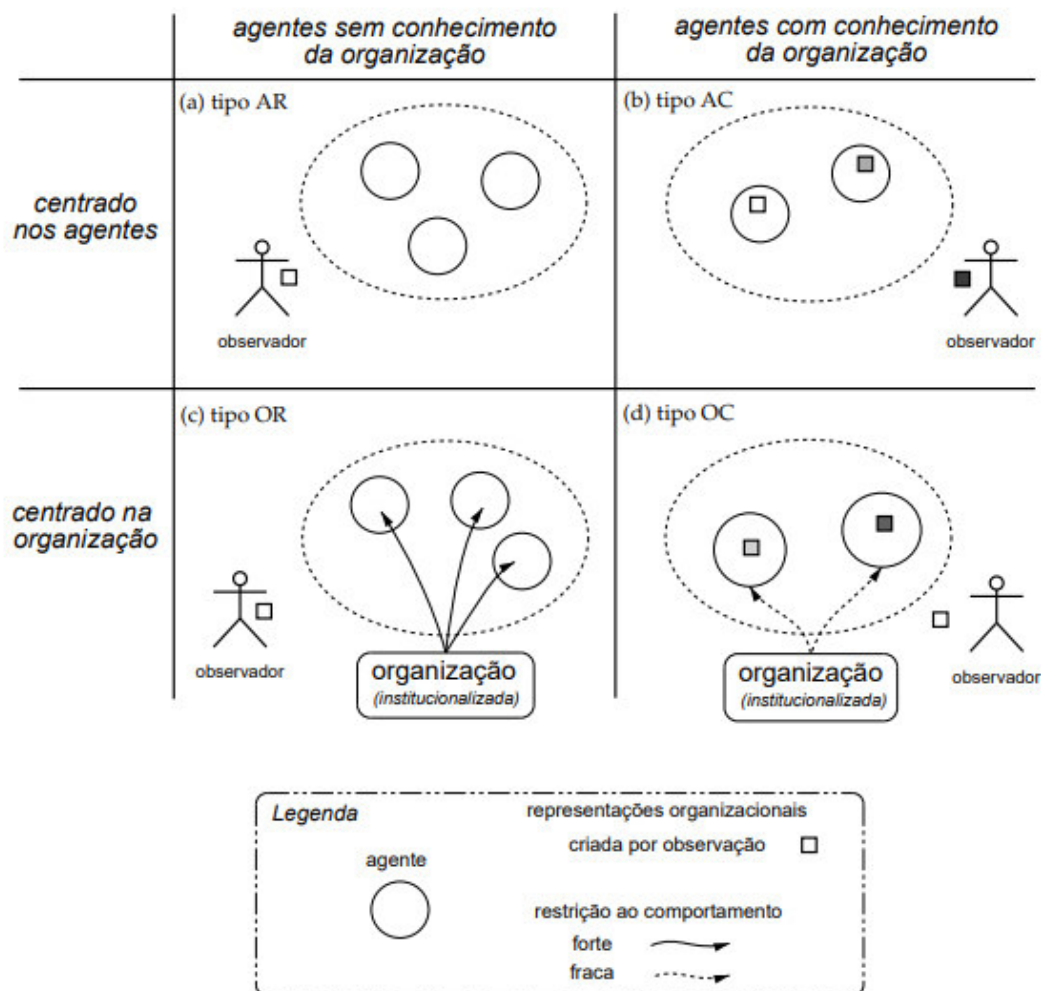
Imp é o conjunto de relações de implementação, ou seja, o conjunto de relações que determinam a forma como os atores sociais, comportamentos e processos de troca existem em um determinado nível arquitetônico (populacional, micro, meso ou macro) da sociedade de agentes, respectivamente. Os níveis arquitetônicos são (COSTA, 2019):

- Os agentes, seus comportamentos e processos de troca, existentes na estrutura populacional, possivelmente implementam papéis sociais, seus comportamentos e processos de troca, no nível microorganizacional;
- Os papéis sociais, seus comportamentos e processos de troca, existentes no nível micro organizacional, possivelmente implementam unidades organizacionais, seus comportamentos e processos de troca, no nível mesoorganizacional;
- As unidades organizacionais, seus comportamentos e processos de troca, existentes no nível meso organizacional, possivelmente implementam subsistemas sociais, seus comportamentos e processos de troca, no nível macroorganizacional;
- Dentro do nível mesoorganizacional (e também dentro do nível macro organizacional), as unidades organizacionais (e subsistemas sociais) são distribuídas em subníveis estruturados recursivamente, com unidades organizacionais (ou subsistema social) de um determinado subnível meso (respectivamente, subnível macro) possivelmente implementando unidades organizacionais (respectivamente, subsistemas sociais) do subnível meso (respectivamente, subnível macro) imediatamente acima.

As organizações em sistemas multiagente podem ser definidas com base em dois pontos de vistas: centradas nos agentes ou centradas nas organizações. No primeiro, os sistemas multiagente não possuem uma representação explícita da organização, fazendo com que um agente observador, ou integrante da sociedade, apenas construa uma descrição da organização em virtude de sua capacidade de observação dos comportamentos de outros agentes, chamada por Lemaître e Excelente (1998 apud HÜBNER, 2003) de organização observada. Já no segundo ponto de vista, a organização de fato existe, sem a necessidade que um agente observador obtenha uma descrição da mesma através dos comportamentos de outros agentes que a formam. Lemaître e Excelente (1998 apud HÜBNER, 2003) definem esta organização como organização institucionalizada.

Estas organizações são classificadas em quatro tipos (Figura 2), de acordo com Hübner (2003):

Figura 2: Os tipos de Organização.



(a) Fonte: Hübner (2003).

- Organizações do tipo AR: centrada nos agentes, que não representam e nem raciocinam sobre a organização observada;
- Organizações do tipo AC: centrada nos agentes, que conseguem representar e raciocinar sobre a organização observada;
- Organizações do tipo OR: centrada na organização, os agentes não possuem a capacidade de representar a organização e por conta disto não raciocinam e não utilizam de seu conhecimento para executarem tarefas;

- Organizações do tipo OC: centrada na organização, os agentes conseguem criar uma representação da organização. O comportamento destes agentes é parcialmente determinado pela organização, pelo fato de raciocinarem sobre ela e utilizarem seu conhecimento para a realização de atividades.

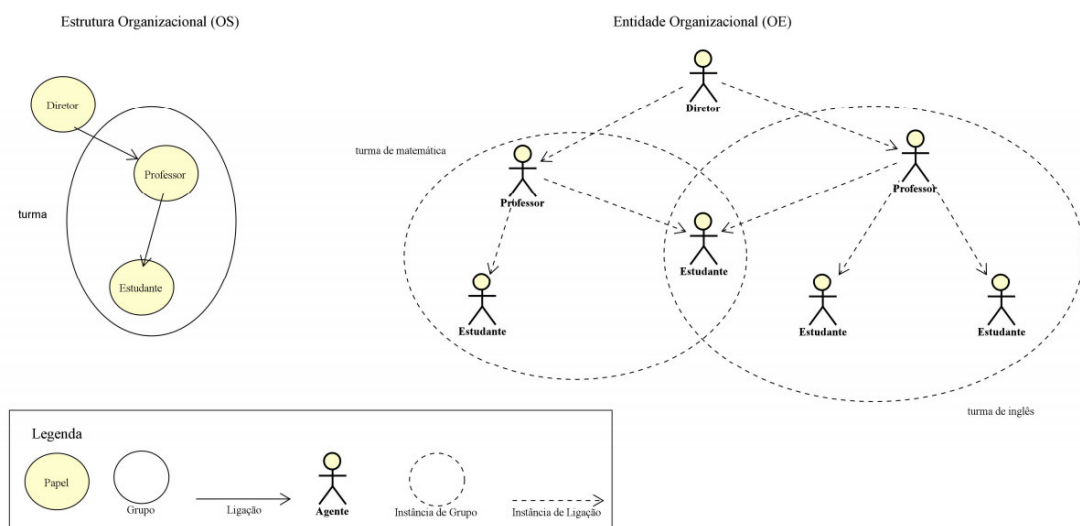
2.5 Modelos Organizacionais

Organizações multiagentes são utilizadas para o desenvolvimento de sistemas autônomos, distribuídos e não centralizados. As principais características de modelos organizacionais são a decomposição funcional dos objetivos da organização e um sistema de normativas. As normativas definem o escopo de responsabilidades que um agente membro da organização obedece. Elas fazem com que o agente entenda quais ações deve executar para que a organização possa atingir seus objetivos (BALDONI et al., 2021).

2.5.1 Moise

O Moise é um modelo organizacional proposto por Hannoun et al. (2000) centrado na figura do agente, para a realização de tarefas. O Moise é estruturado em três níveis: o nível individual, onde são definidas as responsabilidades para cada agente; o nível coletivo, em que há a agregação destes agentes em diferentes estruturas; e por fim, o nível social em que acontece a estruturação global e interconexões das estruturas dos agentes entre si.

Figura 3: Exemplo de estrutura organizacional no modelo Moise.



(a) Fonte: Adaptado de Hannoun et al. (2000).

Hannoun et al. (2000) denominam de estrutura organizacional (OS - *Organizational Structure*) um conjunto de papéis, grupos e relações, tornando o sistema estrutural independente dos agentes dispostos nele. Já a entidade organizacional (OE - *Organizational*

Entity) é aquela em que está o conjunto de agentes trabalhando em uma estrutura organizacional (conforme Figura 3). São definidos como papéis o conjunto de missões dadas a um agente, desempenhando este papel em uma organização. As missões por sua vez são o conjunto de restrições que um agente deve considerar para executar uma tarefa.

Tabela 2: Exemplo para os papéis de candidato a estudante e secretário.

Papel <i>candidato</i>	missão: $m_1 = \langle \mathbf{O}, \{g_1\}, \{p_1\}, \{a_1\}, Any \rangle$	
Metas	Inscrever-se Inscrição ser processada	
Planos	$p_1(g_1) = a_1(r_1, r_2, r_3, r_4); [g_2]$	
Ações	a_1 : arrumar o material de inscrição	
Recursos	r_1 :diploma r_3 :foto	r_2 :histórico r_4 :artigos
Papel <i>secretário</i>	missão: $m_2 = \langle \mathbf{P}, \{g_2\}, \{p_2\}, \{a_3, a_4\}, Any \rangle$	
Metas	processar o arquivo do candidato estudar o material do candidato	
Planos	$p_2(g_2) = [g_3] : (a_3 a_4)$	
Ações	a_3 : recusar o registro a_4 : alterar o candidato para estudante	

(a) Fonte: Adaptado de Hannoun et al. (2000).

Um papel (*role* - *ro*) deve ser definido da seguinte forma na estrutura Moise: $ro = m_i \in M, i \in N$, onde M é o conjunto de missões. Uma missão m_i define um comportamento permitido no sistema, com um conjunto de autorizações relacionados as metas a serem atingidas (G_i), planos a seguir (P_i), ações para executar (A_i) e recursos a utilizar (R_i). Um elemento que não obedeça estes termos não é permitido. O parâmetro s caracteriza a força da missão: $m_i = \langle s, G_i, P_i, A_i, R_i \rangle$. $\mathbf{O}$ representa a obrigação do agente em realizar uma tarefa, e $\mathbf{P}$ a permissão, ou seja, o agente pode optar ou não por realizar a tarefa. Todos estes parâmetros podem ser iguais a $\emptyset$ (nada é permitido) ou *Any* (tudo é permitido) (HANNOUN et al., 2000).

No exemplo exposto na Tabela 2, o agente candidato a estudante possui como obrigação a missão m_1 , que está associada ao seu papel, para concluir a meta de inscrever-se como candidato. Para tal, o agente deve utilizar somente o plano p_1 e todos (*Any*) os recursos disponíveis r_1, r_2, r_3 e r_4 para a execução do plano. O agente, que busca cumprir totalmente suas metas, precisa de outro agente com o papel de secretário, para sua inscrição ser processada e completar a missão.

2.5.2 Moise+

Hübner (2003) apresenta o Moise+, uma extensão do modelo de Hannoun et al. (2000), estruturado em três meios para restrições organizacionais, detalhadas de tal forma como a estrutura (os papéis dos agentes), o funcionamento (planos globais) e as normas

(obrigações da organização). A ausência de um plano global explícito é a principal deficiência do modelo Moise original, o que é corrigido em seu sucessor. Este modelo consegue representar organizações do tipo AR, AC, OR e OC, citadas anteriormente. A Tabela 3 resume as comparações entre o Moise e o Moise+.

O Moise+ possui duas especificações principais: uma Especificação Organizacional e uma Entidade Organizacional. Um grupo de agentes adota uma Especificação Organizacional para gerar uma Entidade Organizacional, que almeja atingir um determinado objetivo (HÜBNER, 2003).

A Especificação Estrutural (EE) do Moise+ está relacionada aos papéis e as ligações realizadas (entre os papéis, os grupos e situações de hierarquia), e procura limitar a autonomia dos agentes através destas ligações entre os papéis. Hübner (2003) detalha a especificação estrutural da seguinte forma em comparação ao Moise original:

- Em relação ao nível individual, os papéis estão relacionados a outros papéis e compõem um elo entre os agentes e a organização. No modelo Moise+ o papel é um identificador que definirá as relações com outros elementos da organização;
- No nível social, os papéis estão relacionados com outros papéis e representam restrições impostas às interações de um papel com os outros;
- No nível coletivo, os papéis são compreendidos dentro de um grupo. Este grupo representa os agentes com maiores afinidades e os objetivos mais próximos e realizáveis. O grupo se diferencia de uma sociedade pois os agentes agem como se fossem um só e com um objetivo comum.

Uma organização possui como objetivo melhorar a eficiência de uma sociedade. A Especificação Funcional foca na maneira como os objetivos globais (planos globais, missões e metas) podem ser atingidos pelos agentes no sistema multiagente, pois na especificação estrutural não fica demonstrado como o objetivo final de uma sociedade será alcançado (HÜBNER, 2003).

No Moise+, a Especificação Funcional (EF) é formada a partir de esquemas sociais, ou seja, métodos pelos quais procedimentos em uma organização são realizados e aprimorados, através do conceito de metas globais. Uma meta global é o estado de mundo que se busca atingir em um sistema multiagente, diferenciando-se de uma meta local que é própria de um único agente. A Especificação Funcional também é formada a partir de uma relação de preferência entre as missões do agente. A especificação funcional por Hübner (2003):

- Nível individual: as missões, um conjunto de metas globais que são atribuídas a um agente de acordo com seu papel;

- **Nível coletivo:** os esquemas sociais, em que uma meta global é decomposta em submetas. As metas de uma missão estão contidas em um plano, que determina quando os agentes podem tentar atingi-las. Um plano no Moise+ não determina que um agente ao alcançar submetas também complete a supermeta.

Em resumo, a EF descreve o processo pelo qual um sistema multiagente atinge suas metas globais. É importante mencionar que existe uma independência entre a Especificação Funcional e a Especificação Estrutural, pois não é necessário fazer qualquer menção a EE na EF. Isto possibilita que o sistema multiagente possa alterar sua Especificação Estrutural (papéis e grupo) sem alterar a Especificação Funcional e vice-versa (HÜBNER, 2003).

Há ainda a chamada Especificação Deontica (ED), que liga as anteriores (indicando as responsabilidades da cada papel na realização dos planos globais, formando uma relação entre EE e EF) e define quais missões um papel é permitido ou obrigado a realizar. Uma permissão determina que um papel pode ou não se comprometer com uma missão, e uma obrigação por sua vez implica que um papel deve se comprometer com a missão (HÜBNER, 2003).

Uma Entidade Organizacional (composta por EE, EF e ED) não inclui agentes, pois estes são representados pelos papéis, gerando assim a necessidade em um sistema multiagente de que essa especificação seja instanciada por um conjunto de agentes, formando uma Entidade Organizacional (HÜBNER, 2003).

Tabela 3: Comparação entre o Moise e o Moise+.

Componente	Moise	Moise+
Papel	Conjunto de Missões	Restrições Estruturais e Funcionais
Missão	Obrigação ou Permissão	Esquema Social
Ligações	Restrições sobre os papéis	Igual
Grupo	Papéis, missões e ligações	Papéis, ligações e subgrupos.
Instanciação	Pares, grupos e ligações	Igual + finalidade

(a) Fonte: Adaptado de Hübner (2003).

3 TRABALHOS RELACIONADOS

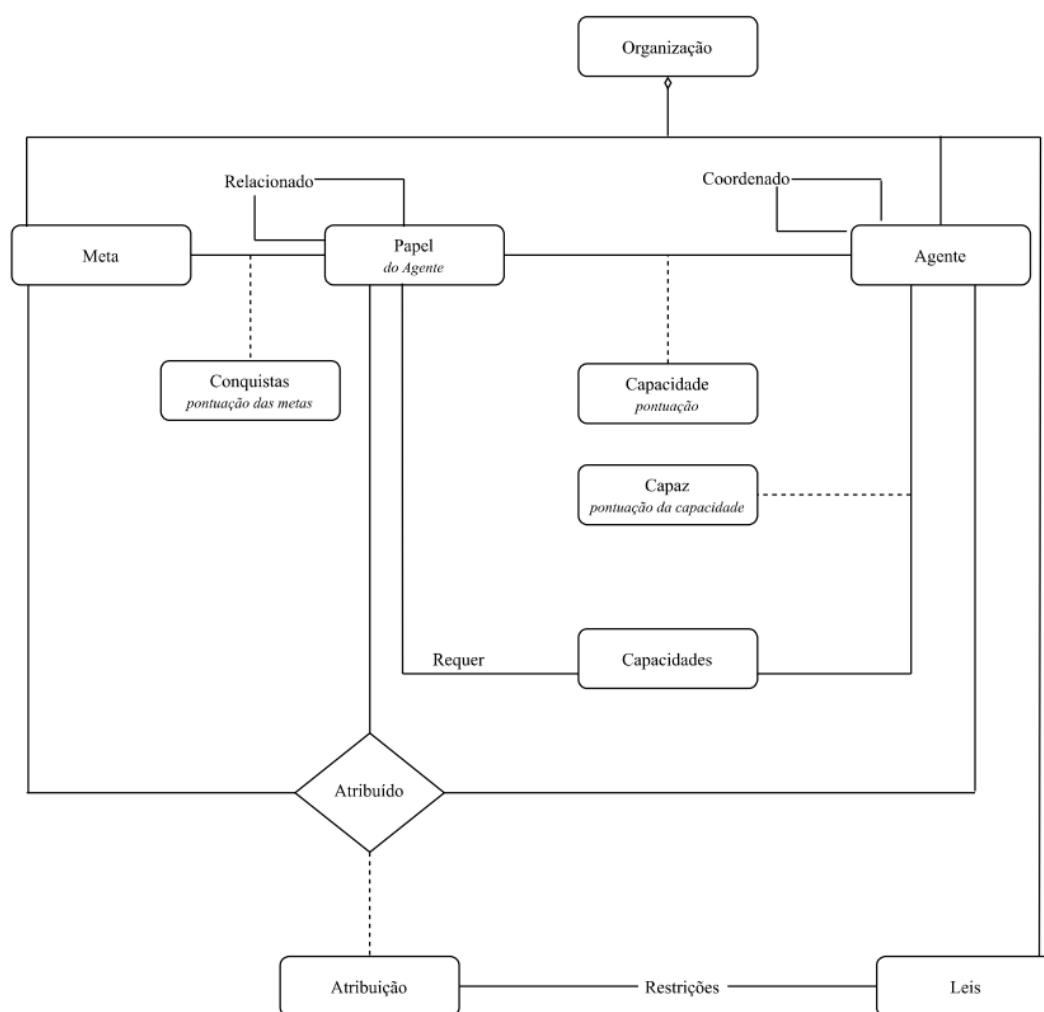
Neste Capítulo são apresentados trabalhos sobre a transferência de conhecimento em sistemas multiagente, a nível de agentes, organizações e sociedades. A maioria das pesquisas tratam sobre a utilização de modelos organizacionais, que é o campo de atuação desta proposta. Estão também destacadas algumas pesquisas referentes ao aprendizado por transferência e ao aprendizado por reforço, em conformidade com o referencial teórico escrito.

Utilizou-se a base de dados Scopus (Elsevier) para a pesquisa de trabalhos relacionados, definindo como critérios o número de citações e o ano de publicação. A busca por produções acadêmicas foi baseada nas seguintes chaves e em suas combinações: *organization model*, *agent organizations*, *organizational structure*, *moise*, *knowledge transfer*, *transfer learning*, *reinforcement learning*, *transferência de conhecimento*, *sistemas multiagente*, *modelo organizacional*, *organizações de agentes*, *estruturas organizacionais*, *aprendizado por transferência* e *aprendizado por reforço*.

Matson e DeLoach (2005) esquematizam um conceito formal de transição para organizações em sistemas multiagente, para uma melhor compreensão dos processos de organização e reorganização, conforme Figura 4. A estrutura organizacional proposta pelos autores é descrita por:

- Metas: entidades abstratas que frequentemente devem ser decompostas para que sejam usadas na identificação de aspectos críticos dos requisitos do sistema. Os objetivos da equipe são compostos pelas definições das metas, decomposição meta-submeta e as relações conjuntivas e disjuntivas entre a meta e a submeta;
- Papéis: descrevem a função que uma entidade possui no sistema;
- Leis: utilizadas para restringir os agentes e suas funções dentro da organização. Compostas por Normas, Sanções, Recompensas e Relações;
- Capacidades: definidas pelo nível de inteligência ou conjunto de funções do agente. Residem em um agente em questão;
- Conquistas: a definição de como um papel satisfaz uma meta específica;

Figura 4: Estrutura formal para a transição em Organizações.



(a) Fonte: Adaptado de Matson e DeLoach (2005).

- **Relações:** dinamicamente alocadas, são os relacionamentos agente-agente, papel-papel, durante o tempo de vida de uma organização. Podem ser baseadas em comunicação, delegação ou cooperação por exemplo;
- **Requisitos:** implicam que um papel deve ter uma capacidade, de forma booleana. Se a capacidade não está presente, a relação é falsa;
- **Submetas:** uma relação booleana entre duas metas, onde uma é diretamente a submeta de outra. Se a relação não existe é falsa;
- **Relações Conjuntivas e Disjuntivas:** especifica se uma meta tem uma relação conjuntiva ou disjuntiva com suas submetas. Uma relação conjuntiva é definida como verdadeira e uma relação disjuntiva como falsa.

Dignum e Dignum (2005) abordam os problemas ocasionados por agentes executando diferentes papéis em ambientes socialmente regulados. Os autores investigaram como ocorrem os relacionamentos entre os papéis de agentes e de que maneira esta relação influencia os mecanismos de coordenação de um sistema multiagente. O trabalho classifica as organizações em três tipos: Mercado, *Network* e Hierárquica, baseadas em teorias econômicas e organizacionais. A Tabela 4 mostra as formas de relações ocorridas no modelo descrito por ambos.

Tabela 4: Comparação das formas de Organização.

	Mercado	Network	Hierarquia
Tipo de Sociedade	Aberta	Confiança	Fechada
Coordenação	Preço	Colaboração	Supervisão
Tipo de Relação	Competição	Interesse mútuo	Autoridade
Comunicação Primária	Preços	Relacionamentos	Rotinas
Tom ou Clima	Precisão/Suspeita	Aberto/Benefícios	Formal/Burocracia
Cooperação	Nenhuma	Negociação	Absoluta
Resolução de Conflitos	Pechinchar	Reciprocidade	Supervisão

(a) Fonte: Adaptado de Dignum e Dignum (2005).

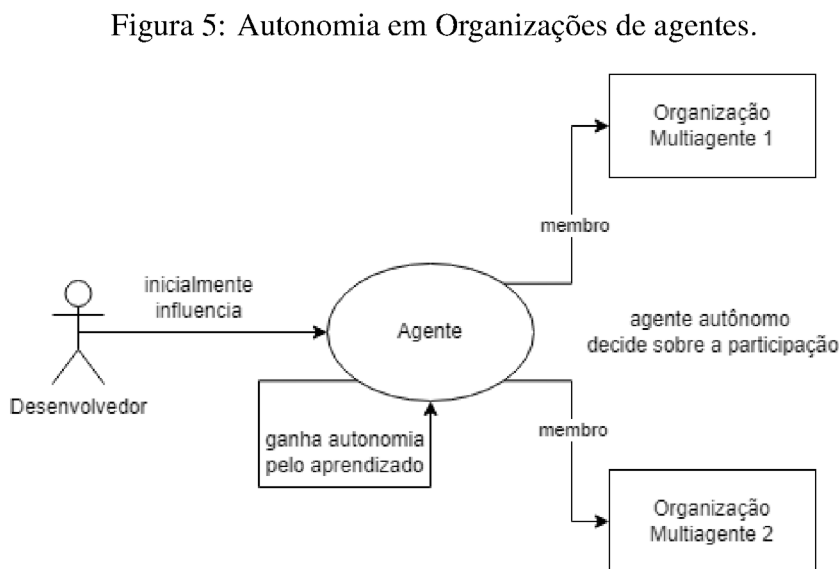
Argente, Julian e Botti (2006) discutem a teoria da organização, estruturas humanas de organização, para a análise e o desenvolvimento passo a passo de sistemas multiagente. As estruturas detalhadas e a forma de implementá-las pelos autores são as seguintes:

- **Estrutura simples:** implementada por uma arquitetura mestre/escravo ou *blackboard*;
- **Estrutura burocrática:** Implementada através de níveis hierárquicos ou autoridade;

- Estrutura matriz: pela cooperação negociativa entre os agentes, para atingir os objetivos da organização;
- Estrutura de time: por meio da distribuição de um planejamento dos agentes em virtude da coordenação de equipe;
- Estrutura virtual: implementada por técnicas de negociação. Esta negociação pode ser baseada em teoria dos jogos, planos ou em comportamentos humanos.

De acordo com Maia e Sichman (2018) as organizações e o ambiente em sistemas multiagente restringem o comportamento de agentes ao limitar as ações disponíveis para ele, a fim de promover a cooperação. Com base neste preceito, os autores implementam uma proposta para a representação de autonomia em sistemas multiagente, utilizando o modelo organizacional Moise+ no JaCaMo, espelhando-se no comportamento de organizações humanas, onde os agentes possuem diferentes graus de autonomia.

Premm e Kirn (2017) também trabalham com a autonomia de agentes inteligentes em modelos organizacionais, para que estes agentes consigam lidar com condições imprevisíveis em determinados casos. São abordados aspectos para a inclusão destes atores autônomos na organização. Agentes autônomos podem participar de várias organizações, ocasionalmente gerando conflitos de objetivos que precisam ser resolvidos pelo próprio agente. A Figura 5 exemplifica essa questão.



(a) Fonte: Adaptado de Premm e Kirn (2017).

Silva (2019) propõem o uso de métodos de *Transfer Learning*, ou seja, do aprendizado prévio através de tarefas semelhantes (reutilização de conhecimento), para acelerar o processo de *Reinforcement Learning* em um sistema multiagente, a fim de estimular

que políticas sejam aprendidas mesmo com vários atores dispostos simultaneamente no mundo. Esses agentes podem ser cooperativos, antagonistas ou individualistas.

Em sua pesquisa, Liang e Li (2020) elaboram uma aplicação para a transferência paralela de conhecimento, através de um *framework* MARL (*Multi-agent Reinforcement Learning*), incrementado o aprendizado de múltiplas tarefas e promovendo o trabalho em equipe. Um agente alterna-se de estudante a professor nesta proposta, utilizando o conhecimento adquirido com outros agentes para ensinar os demais. Este trabalho estimula a formação de equipes em organizações, com seus próprios objetivos, planos e estratégias, que conseguem maiores recompensas ao transferirem conhecimento e atuarem em conjunto.

Ambos os trabalhos, Silva (2019) e Liang e Li (2020), abordam o *framework AdHoc Advising*, que é uma importante ferramenta para o aprendizado onde não há um único agente experiente transmissor de todo o conhecimento, e os atores buscam conselhos com outros para aprender políticas e como resolver suas tarefas, com os agentes compreendendo de forma apropriada como e quando transferir, individualmente ou em equipe.

Machado (2020) trabalha a fase de testes em sistemas multiagente, especificando um método para uma sistemática de testes no modelo organizacional Moise+. Como estudo de caso, são utilizados os exemplos *Write Paper* e o *Soccer Team*, o futebol de robôs, no JaCaMo.

Baldoni et al. (2021) apresentam uma extensão do modelo organizacional no JaCaMo, utilizando a noção de exceção. É proposto um mecanismo para o tratamento de exceções para a gestão organizacional em sistemas multiagente, baseando-se em conceitos de organizações como responsabilidades, metas e normas. A exceção é algo que altera a execução normal de um software. Em uma organização multiagente, uma exceção pode ser entendida como um evento que impede um agente de cumprir uma de suas responsabilidades, falhando em atingir um objetivo. Os autores apontam uma forma dos próprios agentes reportarem sobre exceções durante a execução da organização.

No escopo de *Transfer Learning*, Spaulding e Shen (2021) elaboram uma abordagem multitarefa personalizada, para o aprendizado através de jogos. Desta forma, ao jogar diversos *games*, os dados e modelos de transferência de aprendizado estão sendo transferidos e integrados a cada jogo. Os autores tem como hipótese que este método de trabalho para a aprendizagem concederia os seguintes benefícios: primeiramente, ao integrar dados provenientes de múltiplas atividades, realizadas através de modelos de interação em cada jogo, se obtém um uso mais eficiente dos dados, o que é mais desejável para aplicar estes modelos de aprendizagem no mundo real; em segundo, por permitir uma grande variedade em tarefas educacionais, a personalização pode aumentar o engajamento durante o processo de interação; e por fim, ao desenvolver este sistema de múltiplas tarefas distintas, pode ser benéfico para educadores e conhecedores de domínio, aumentando a quantidade de dados de interação fornecidos e providenciando que melhores habilidades e modelos

personalizados possam ser aprendidos por modelos computacionais de estudantes.

Os trabalhos de Maia e Sichman (2018), Machado (2020) e Baldoni et al. (2021) fazem uso de modelos organizacionais no *framework* JaCaMo, com diferentes aspectos em suas respectivas abordagens. Estes trabalhos estão mais próximos ao contexto desta pesquisa, embora a temática de transferência de conhecimento em nível organizacional não é abordada da mesma forma, conceitual ou prática, como nesta dissertação de mestrado. A maioria das obras encontradas na literatura empregam algum tipo de ideia de transferência de conhecimento tão somente no nível de agentes. A ausência de produções acadêmicas com o mesmo escopo na revisão sistemática realizada, em organizações de agentes, demonstra a importante contribuição deste trabalho para a área de sistemas multiagente.

A Tabela 5 classifica os trabalhos expostos quanto as técnicas empregadas para a transferência de conhecimento, como Aprendizado por Transferência (TL), Aprendizado por Reforço (RL) ou o uso de Modelos Organizacionais.

Tabela 5: A classificação dos trabalhos relacionados.

Autores	TL	RL	Modelos Organizacionais
Argente, Julian e Botti (2006)	-	-	X
Baldoni et al. (2021)	-	-	X
Dignum e Dignum (2005)	-	-	X
Liang e Li (2020)	-	X	X
Machado (2020)	-	-	X
Maia e Sichman (2018)	-	-	X
Matson e DeLoach (2005)	-	-	X
Premm e Kirn (2017)	-	-	X
Silva (2019)	X	X	-
Spaulding e Shen (2021)	X	-	-

(a) Fonte: Elaboração própria.

4 METODOLOGIA

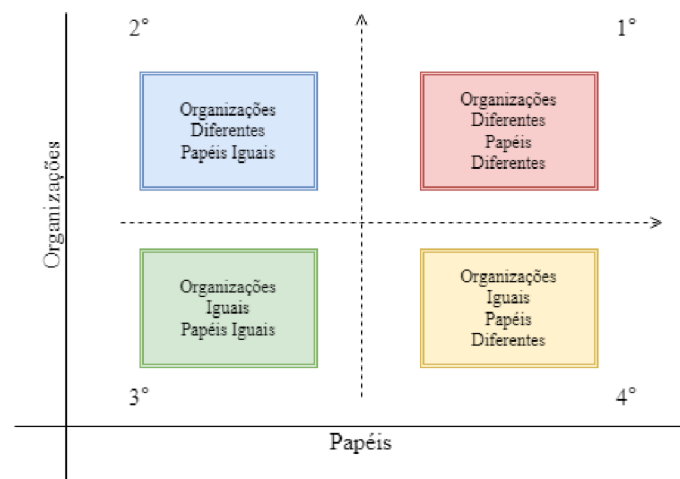
Neste Capítulo estão elencadas possibilidades para a transferência de conhecimento em organizações de agentes, bem como a modelagem computacional destes casos e um protocolo de interação para a proposta. Também é definido o papel Organizador, que se torna central neste método.

4.1 Modelos Organizacionais no Moise+

Anteriormente, foram apresentados métodos para a transferência de conhecimento em sistemas multiagente. Alguns autores utilizam técnicas como o Aprendizado por Reforço e/ou o Aprendizado por Transferência, o que se mostra eficaz em determinados casos. Definiu-se trabalhar a partir de modelos organizacionais, por meio do modelo Moise+, para validar a transferência de conhecimento em organizações de agentes.

Isto posto, compreende-se quatro possíveis casos para o tratamento de transferência de conhecimento em modelos organizacionais. Estes casos estão em quadrantes no plano cartesiano da Figura 6, com níveis de complexidade que aumentam a cada eixo.

Figura 6: Quatro casos para a transferência de conhecimento em modelos organizacionais.



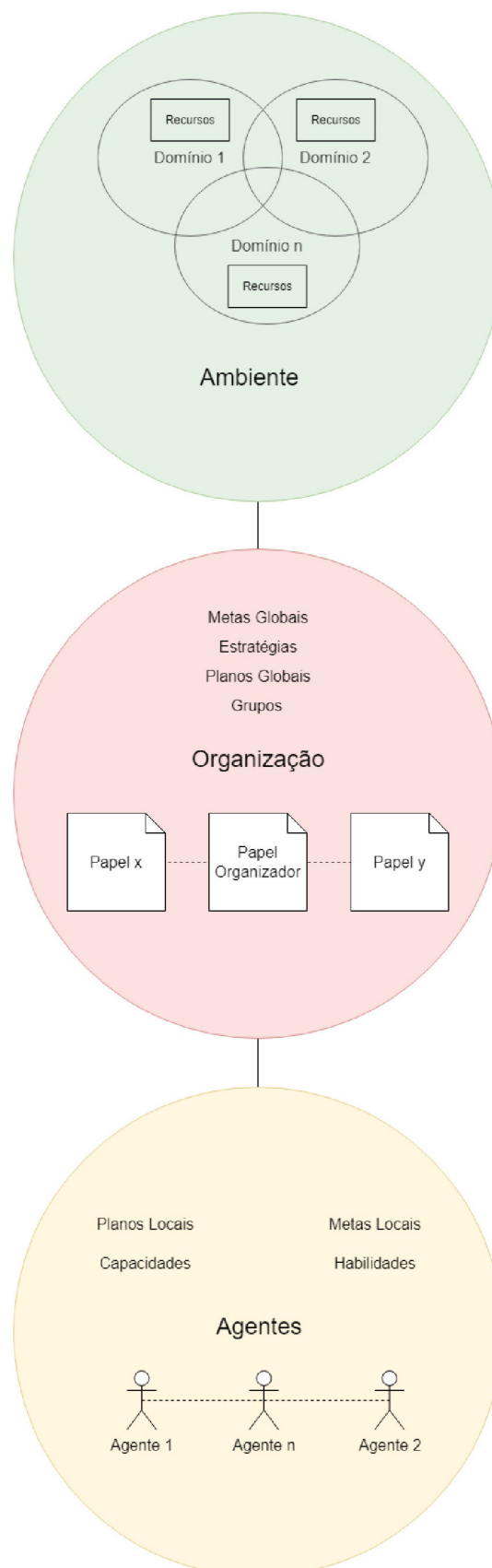
(a) Fonte: Elaboração própria.

A fim de demonstrar os casos para a transferência de conhecimento na dimensão de organizações de agentes, diagramou-se uma modelagem computacional que é representada nas Figuras 7 e 8. Nesta formulação estão presentes conceitos abordados anteriormente, como os da Figura 1. Assim sendo, conceituamos/estruturamos o Moise+ da seguinte forma:

- Neste mundo, os diferentes domínios existentes, ou seja, os recursos utilizados por cada domínio, estão contidos no campo ambiente. Podemos relacionar os domínios como parte de um universo chamado esporte, em que organizações buscam meios em modalidades diferentes para aplicarem em sua equipe de futebol. Estes domínios determinam porque é desejado transferir conhecimento.
- As organizações possuem as metas globais do Moise+, suas estratégias, os planos globais e os grupos ao qual pertencem cada agente. As metas globais são os objetivos finais da organização. As estratégias estão compreendidas como os esquemas necessários para uma organização alcançar suas metas. Os planos globais possuem os objetivos e as ações necessárias para a organização realizar as tarefas no ambiente.
- No exemplo do futebol de robôs, os grupos estão divididos em defesa e ataque. Um outro jogador do campo defesa torna-se mais propício para desempenhar o papel de outro jogador deste setor, como um zagueiro para substituir um goleiro que foi expulso, do que um atacante. Nas organizações estão os papéis, entre eles o papel Organizador.
- O papel Organizador é o responsável por definir a transferência de conhecimento entre os papéis e a comunicação para a realização desta troca, seja na mesma organização ou em organizações diferentes. Cada organização possui um ou mais Organizadores. O agente que recebe a atribuição de Organizador está apto a transferir conhecimento.
- Do ponto de vista dos agentes, eles possuem suas metas locais, os objetivos individuais de cada um, planos locais, capacidades e habilidades. As capacidades estão atreladas aos requisitos necessários para um agente executar um determinado papel. Já as habilidades relacionam-se ao quão bem um agente desempenha um papel.

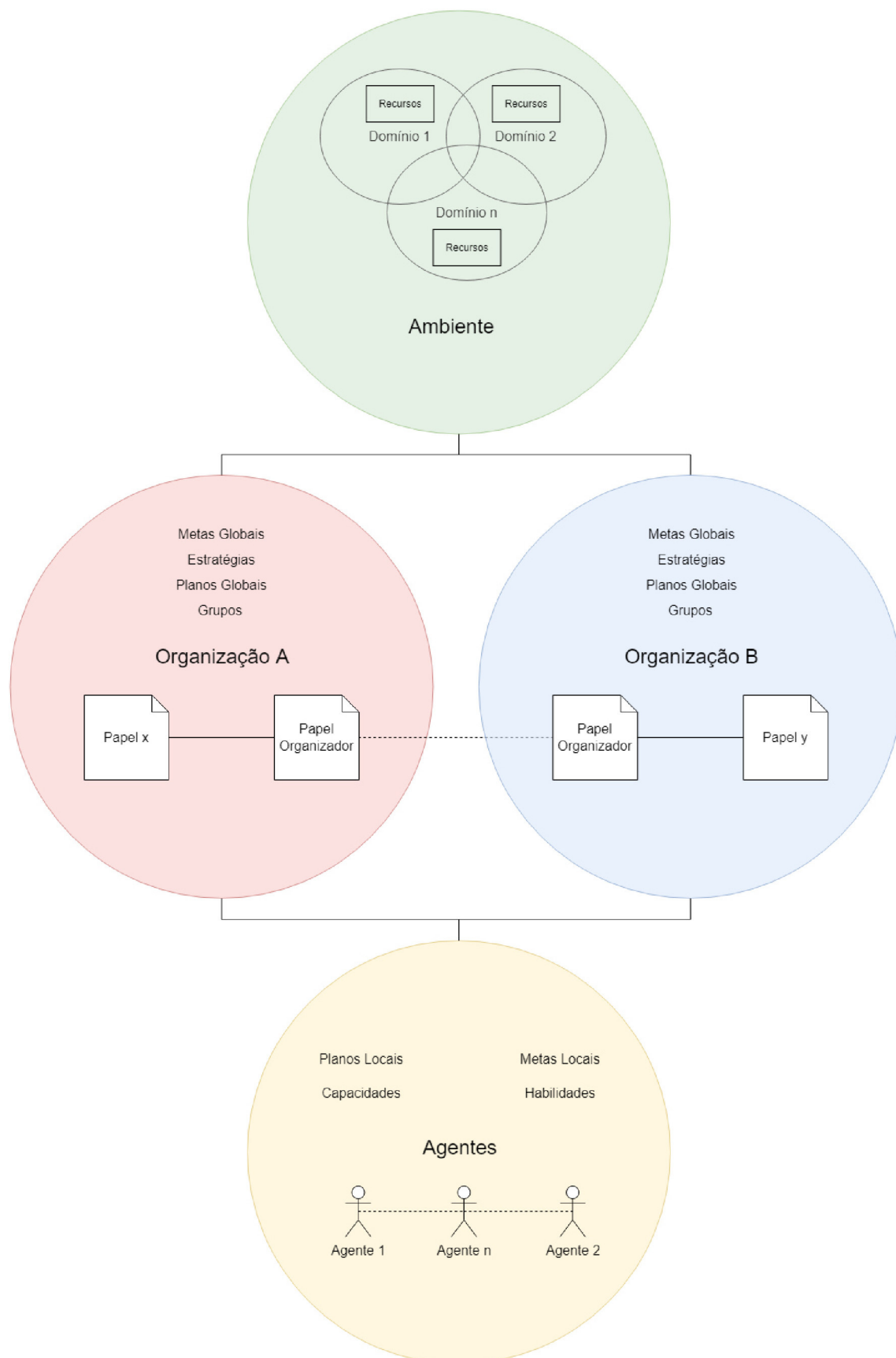
O modelo desenvolvido para os casos de transferência de conhecimento em organizações de agentes, entende-se por ser extensível para outras ferramentas além do Moise+, tornando-o um modelo geral para se trabalhar nessa dimensão em um sistema multiagente. O agente com papel de Organizador é a chave para todo o processo de transferência de conhecimento proposto. Para a completude do modelo em questão, é impositiva uma definição deste papel Organizador e de um protocolo de comunicação e interação do mesmo, o que pode ser encontrado nas próximas seções desta pesquisa.

Figura 7: Modelagem computacional para a transferência de conhecimento em uma Organização de agentes.



(a) Fonte: Elaboração própria.

Figura 8: Modelagem computacional para a transferência de conhecimento entre duas Organizações de agentes.

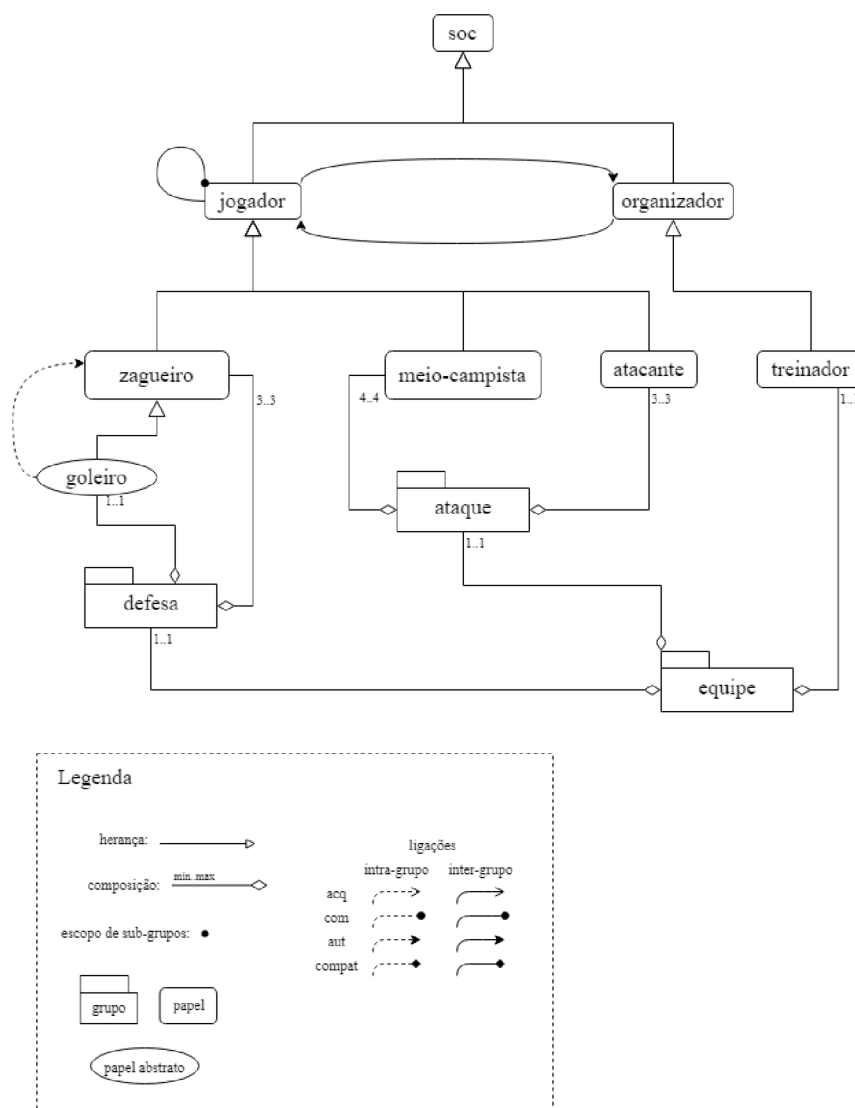


(a) Fonte: Elaboração própria.

4.1.1 Soccer Team

Para ilustrar os conceitos abordados na modelagem utilizamos o exemplo do *Soccer Team*, o futebol de robôs, adaptando-o para o contexto deste trabalho. A Figura 9 adapta a especificação estrutural do futebol presente no trabalho de Hübner e Sichman (2002) para o modelo em discussão, com as respectivas cardinalidades para a quantidade de papéis na estrutura.

Figura 9: A especificação estrutural do *Soccer Team*.



(a) Fonte: Adaptado de Hübner e Sichman (2002).

Os agentes desempenham funções de goleiro, zagueiro, meio-campista e atacante como subpapéis do papel Jogador, e possuem metas locais. Existe também o subpapel treinador, que nesta proposta é o Organizador do modelo. A principal estratégia destes agentes é a meta “marcar um gol”. As estratégias dependem dos planos que estão atrelados a cada papel de agente, e estes planos por sua vez necessitam de ações e de recursos,

ou seja, a capacidade mínima para desempenhar uma função em específico por parte dos jogadores. Os papéis goleiro e zagueiro fazem parte do subgrupo defesa e os papéis meio-campista e atacante integram o subgrupo ataque. Os grupos defesa e ataque, e o subpapel treinador, integram o grupo equipe.

4.2 O papel Organizador

No modelo proposto, o papel Organizador torna-se central para a transferência de conhecimento em organizações de agentes. Um agente com esta função é o centralizador dessas relações no sistema. Ele consegue observar e raciocinar sobre a organização em que está inserido, criando uma representação da mesma.

O Organizador é quem controla o fluxo de envio de dados entre os papéis. Na transferência de conhecimento entre duas organizações, o Organizador de uma organização será o responsável por interagir com o Organizador de outra. Vale ressaltar que uma organização pode ter diferentes agentes no papel de Organizador. Um agente assume a função de Organizador em determinadas situações e sistemas.

No exemplo do jogo de futebol de robôs, o subpapel treinador assume a função do papel Organizador. Ele é quem determina quais agentes neste mundo realizarão a transferência de conhecimento, obtendo os métodos para desempenharem uma nova estratégia a fim de atingirem a meta da organização.

Tabela 6: O papel Organizador.

Papel <i>Organizador</i>	missão transferir: $m_1 = \langle \mathbf{O}, \{g_1\}, \{p_1, p_2, p_3\}, \{a_1, a_2\}, Any \rangle$
Metas	g_1 : Transferir conhecimento
Planos	chamada para transferência $p_1(g_1) = a_1(r_1)$ proposta para a transferência $p_2(g_1) = a_1(r_1, r_2)$ transferir conhecimento $p_3(g_1) = a_2(r_2, r_3)$
Ações	a_1 : Enviar mensagem a_2 : Atualizar papel
Recursos	r_1 :Dados observados r_2 :Dados recebidos r_3 :Dados enviados

(a) Fonte: Adaptado de Hannoun et al. (2000).

A Tabela 6 é um esboço do comportamento do papel Organizador com base no modelo de Hannoun et al. (2000) e é descrita da seguinte forma:

- (m_1) é a missão; (g_1) a meta a ser atingida; (p_i) os planos a seguir; (a_i) ações para executar e (r_i) os recursos disponíveis para o papel. $\mathbf{O}$ é uma obrigação para o papel e *Any* é o conjunto de todos os recursos.

- A meta do agente com o papel de Organizador é a transferência de conhecimento, que implica na forma de como o processo é iniciado e concluído.
- Os planos incluem a chamada para transferência, ou seja, a definição de quais papéis participarão do processo, e a transferência de conhecimento propriamente dita. O plano proposta para a transferência é aquele em que há a comunicação entre Organizadores de organizações diferentes.
- As ações deste papel incluem o ato de enviar uma mensagem, sendo esta a maneira pela qual o agente possuidor deste papel comunica-se com outros papéis, e a atualização de um dos papéis envolvidos na transferência de conhecimento. Em caso de comunicação com outro Organizador, o mesmo pode aceitar ou recusar a proposta para a transferência no conteúdo da mensagem transmitida.
- Em relação aos recursos disponíveis ao papel Organizador para a realização de suas ações, estão os dados observados, pois este tipo de agente consegue observar e raciocinar sobre a Organização como um todo, estes dados observados incluem por exemplo a verificação da necessidade de se transferir conhecimento entre papéis.
- Os dados recebidos estão compostos pelo que é enviado de outro papel para o agente com papel de Organizador, ou seja, seus planos, esquemas sociais e as mensagens trocadas. E os dados enviados contém a atualização de papéis empregada pelo Organizador na organização em questão.

Para um melhor entendimento da dinâmica de comunicação entre o agente com papel de Organizador e os demais papéis em uma ou mais organizações, estabeleceu-se posteriormente um protocolo de interação para o modelo.

4.3 Protocolo de Interação

Para exemplificar a comunicação durante o processo de transferência de conhecimento, utilizamos um diagrama de sequência por meio do padrão FIPA *Contract-Net Protocol*, sendo este um protocolo para o compartilhamento e atribuição de tarefas em sistemas multiagente (FIPA, 2000).

No modelo desenvolvido para este trabalho, a comunicação é realizada através do agente que está com o papel de Organizador no sistema. O processo inicia com um método de chamada para a transferência, e o conteúdo a ser transmitido, por meio da troca de mensagens entre os agentes da organização, é o papel que um agente desempenha no momento. Este papel é composto pelos planos atribuídos a ele, com seus respectivos objetivos e esquemas sociais.

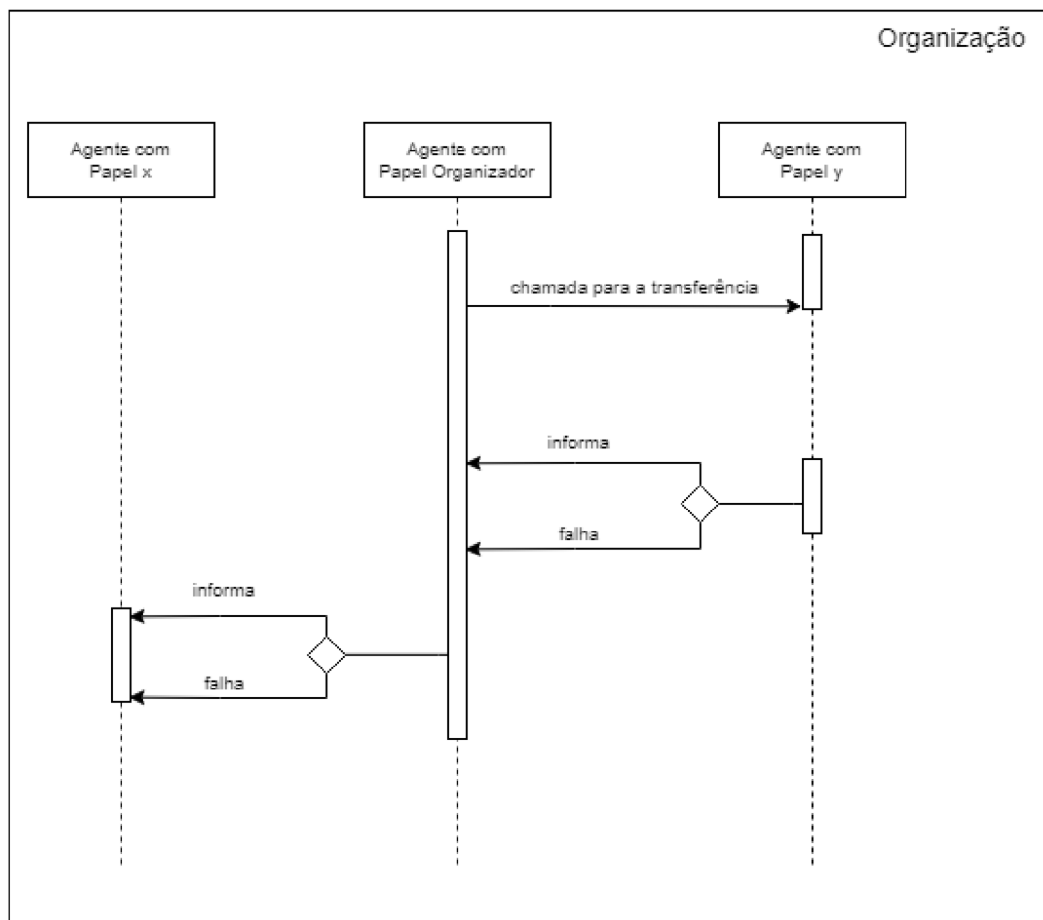
Para o processo de transmissão será considerado que todos os agentes possuem ao menos a capacidade de estarem empregados em qualquer papel. Retornando ao modelo

do futebol de robôs para uma ilustração do tema, todos os agentes possuem a capacidade de chutar uma bola por exemplo. O protocolo elaborado utiliza a mesma fundamentação das modelagens realizadas nas seções anteriores deste trabalho, de acordo com as Figuras 1, 7 e 8, e a Tabela 6.

O agente com o papel de *Organizador* define os papéis que participarão da transferência de conhecimento e que serão atribuídos a novos agentes durante o fluxo de interações no protocolo. O *Organizador* recebe como resposta em caso de sucesso na interação uma mensagem que informa os dados de um papel, seus planos e esquemas sociais, neste exemplo nomeado de *Papel y*, e envia este papel para outro agente que está em um primeiro momento desempenhando um outro papel, nomeado de *Papel x*. Em caso de erro, uma mensagem de falha será transmitida ao *Organizador*. A *thread* do *Organizador* continua em execução por todo o processo.

Esta é a descrição da estrutura básica de comunicação interna em uma única organização de agentes, com a representação de suas *threads* e interações na Figura 10.

Figura 10: *Contract-Net Protocol* para a transferência de conhecimento em uma Organização de agentes.



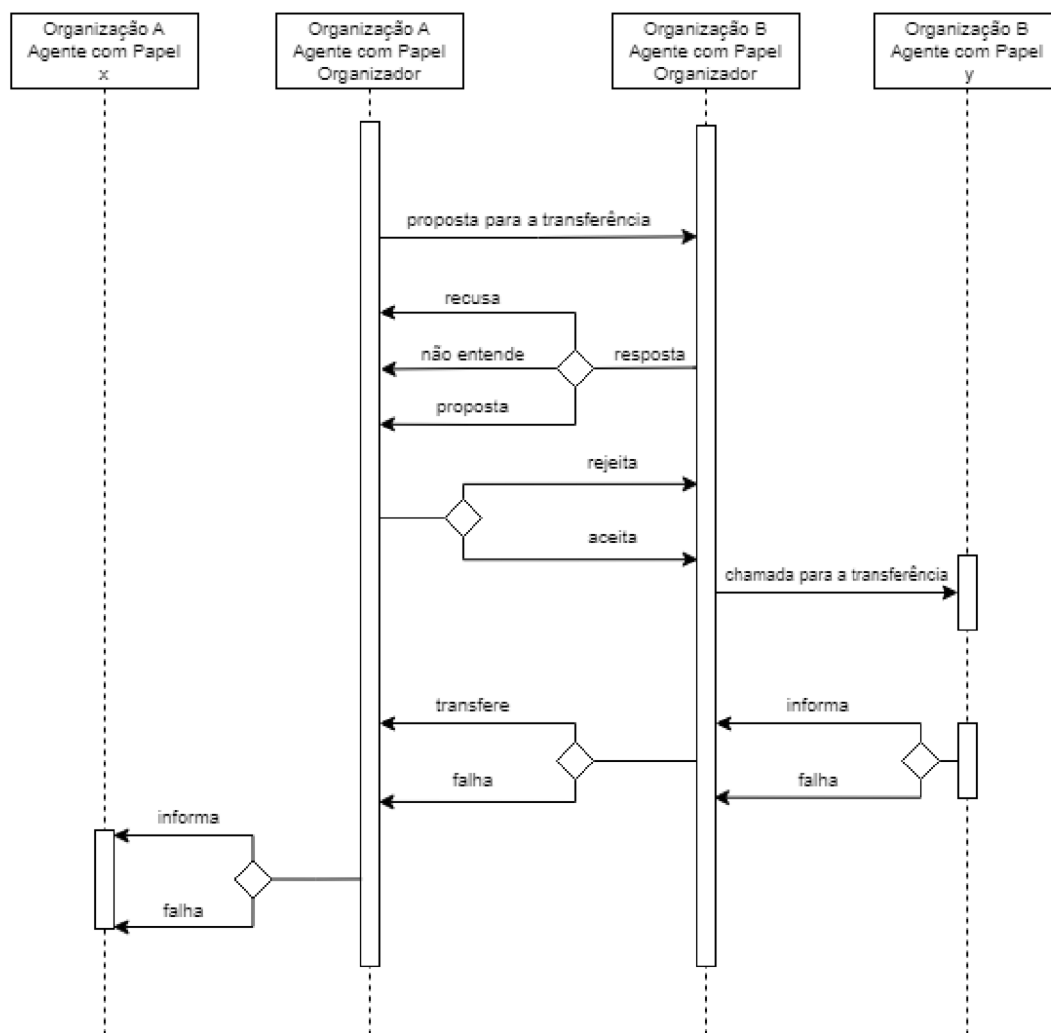
(a) Fonte: Elaboração própria.

Para abordar o ponto de vista de duas organizações diferentes de agentes, os papéis Organizadores serão referidos acompanhados do caractere que define a organização ao qual pertencem, A ou B. O protocolo de interação foi esquematizado da seguinte forma:

- As *threads* dos Organizadores continuam em execução por todo o processo.
- O agente com papel de Organizador em uma Organização A envia uma mensagem com uma proposta de transferência de conhecimento para um agente Organizador em uma Organização B. O Organizador B responde a proposta com uma recusa, ou uma mensagem de erro, significando que não compreendeu a mensagem, ou sua contraproposta.
- Caso receba uma contraproposta, o Organizador A transmite uma mensagem informando se aceitou ou recusou ao Organizador B.
- Seguindo o mesmo padrão estabelecido para o modelo de uma única organização, internamente, o Organizador B envia uma chamada para transferência para um Papel y. O papel escolhido responde com informa ou falha.
- Em caso de sucesso na comunicação interna do Organizador B com o Papel y, o conteúdo do papel é transmitido pelo Organizador B para o Organizador A.
- Por fim, o Organizador A, se recebeu os dados enviados pelo Organizador B, transmite uma mensagem de informa ou falha a um papel interno de sua organização, nomeado de Papel x. Em caso de sucesso na comunicação, o agente que estava atribuído com o Papel x passa a desempenhar o Papel y.

Todos estes mecanismos de resposta seguem a fundamentação do *Contract-Net Protocol*. A Figura 11 apresenta o protocolo de interação para duas organizações de agentes distintas, explicado anteriormente.

Figura 11: *Contract-Net Protocol* para a transferência de conhecimento em duas Organizações de agentes.



(a) Fonte: Elaboração própria.

5 ESTUDO DE CASO: MOISELIGHT

Neste Capítulo é apresentado o estudo de caso para a validação da proposta. Após as discussões de tópicos sobre sistemas multiagente, transferência de conhecimento, as dimensões de agentes, organizações e sociedades, e a elaboração de um modelo para a transferência de conhecimento em organizações de agentes, buscou-se por uma solução capaz de compreender os diversos aspectos abordados na pesquisa. Para tanto, o *framework* escolhido foi o JaCaMo e como implementação do modelo Moise+ foi utilizado o MoiseLight.

5.1 JaCaMo

Após a contextualização de quatro modelos organizacionais possíveis para a transferência de conhecimento, definiu-se pela utilização da ferramenta JaCaMo para fins de implementação. O JaCaMo, acrônimo para **J**ason, **C**artago e **M**oise, é uma solução *open-source* para o desenvolvimento de sistemas multiagente integrados em três dimensões: agente, ambiente e organização (BOISSIER et al., 2020).

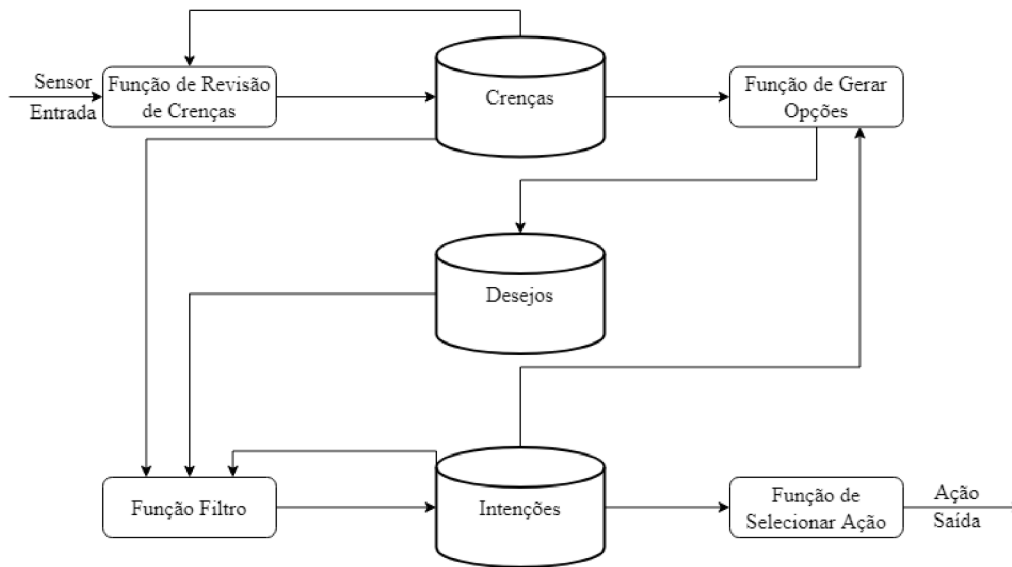
No Jason estão presentes os agentes e seus relacionamentos, além de sua atribuição aos grupos do Moise+. Os grupos de agentes e os papéis do modelo estão na dimensão do Moise+. O Organizador aqui é tratado como o treinador no exemplo da equipe do futebol de robôs. Já o CArtaGO é o ambiente que possui os diferentes domínios e seus recursos. A Figura 13 contém essa representação.

5.1.1 AgentSpeak(L) e BDI

O AgentSpeak(L) trata-se de uma linguagem de programação baseada na arquitetura e lógica BDI. A arquitetura BDI (*Belief-Desire-Intention*), que busca modelar o comportamento humano, é composta por crenças, que representam as informações que um agente possui sobre o mundo; os desejos, ou seja, os objetivos que um agente deseja atingir; e as intenções, as ações que um agente quer realizar (MAIA, 2018).

Uma esquematização genérica para a arquitetura BDI, baseada na obra de Wooldridge (1999), é encontrada na Figura 12.

Figura 12: Arquitetura BDI genérica.



(a) Fonte: Adaptado de Wooldridge (1999).

A função de revisão de crenças define novas crenças em decorrência de alterações no ambiente; a função de gerar opções é composta pelas novas alternativas disponíveis para o agente, modificando seus desejos; a função filtro atualiza as intenções do agente e a função de selecionar ação determina a ação a ser executada com base nas intenções atuais (WOOLDRIDGE, 1999; MACHADO, 2020; HÜBNER; BORDINI; VIEIRA, 2022).

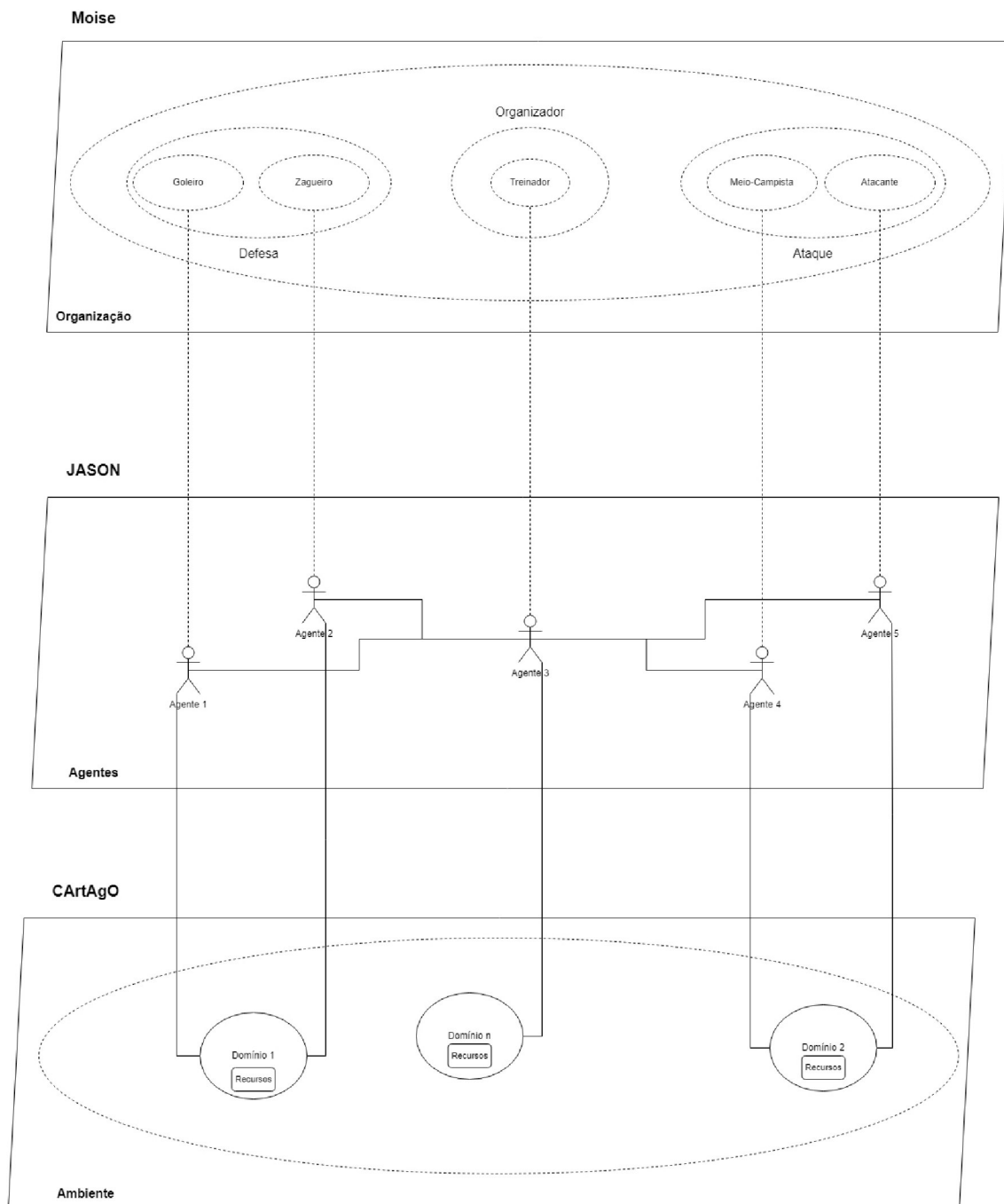
5.1.2 Jason

O Jason é uma extensão da linguagem AgentSpeak(L), implementado em Java e possui diversas funcionalidades como atos de fala baseados na comunicação entre agentes, com anotações das crenças e a fonte destas informações, anotações em rótulos de planos, a possibilidade de executar sistemas multiagente distribuídos em uma *network*, funções customizáveis e confiáveis, extensibilidade e noção dos ambientes. Agentes no Jason executam planos em um ambiente por meio de sua biblioteca de funções. O ambiente é percebido pelo agente através de alterações em sua base de conhecimento (BORDINI; HÜBNER, 2006; MAIA, 2018; HÜBNER; BORDINI; VIEIRA, 2022).

5.1.3 CArtAgO

O CArtAgO é uma plataforma para o desenvolvimento de ambientes em sistemas multiagente. A programação no CArtAgO é feita através de artefatos, integrada com o Jason. Do ponto de vista dos agentes, estes artefatos são as entidades representando os recursos disponíveis no mundo, que podem ser utilizados e compartilhados pelos agentes para realizar ações (RICCI et al., 2009).

Figura 13: A representação do *Soccer Team* nas dimensões do JaCaMo.



(a) Fonte: Elaboração própria.

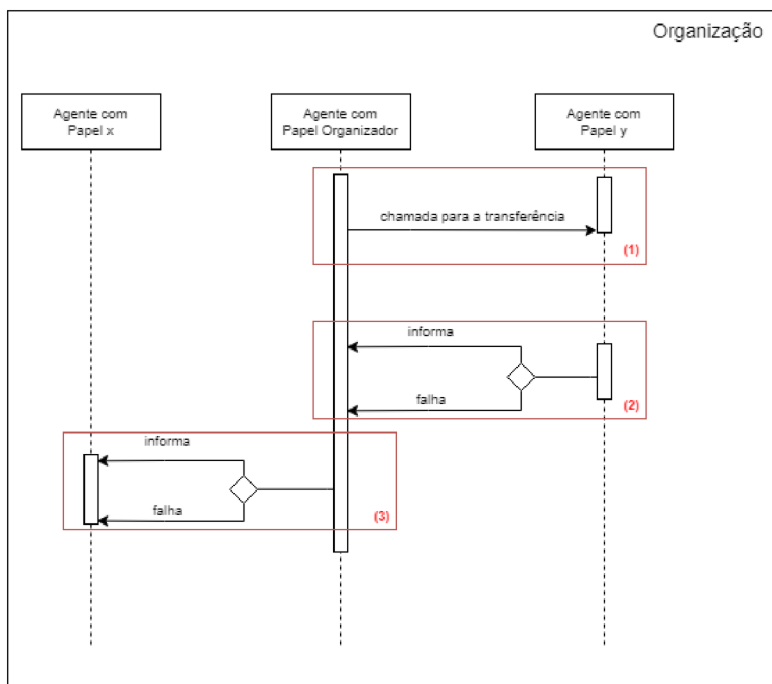
5.2 MoiseLight

O MoiseLight é uma implementação em desenvolvimento por Hübner (2022) a partir do modelo Moise+, onde a organização é dinamicamente construída em tempo de execução. Com este modelo é possível verificar exemplos como o modelo do jogo de futebol de robôs citado anteriormente. No Apêndice A, encontram-se todos os códigos desenvolvidos na íntegra, e que foram adaptados de (HÜBNER, 2022).

No MoiseLight um agente cria a organização, os esquemas, os grupos e envia papéis para os outros agentes. O artefato, relacionado ao domínio do CARtAgO, é criado diretamente no cabeçalho do código deste agente, em conjunto com o grupo do Moise+. Esse agente recebe seu papel através de um plano chamado *adoptRole* e um método com o mesmo nome. Em seguida o agente cria o esquema *s1*, define as obrigações do modelo, envia os papéis para os outros agentes e, quando todos os objetivos forem atingidos, destrói o esquema, os grupos e encerra a operação.

Os objetivos definidos para o MoiseLight são: *g0* e *g1*, os objetivos do agente que criou a organização; e *g2*, que depende do objetivo *g1* ser atingido. Em nosso modelo, *g2* é o objetivo obrigatório do papel de atacante, que será transferido para outro agente sem papel. Neste trabalho propõem-se a criação de um papel Organizador, que seguindo o protocolo de interação estabelecido, realiza a transferência de conhecimento entre os diferentes agentes no sistema. Ao agente Felipe é atribuído o papel de atacante. O agente Paulo não possui um papel próprio no começo da execução do programa.

Figura 14: As etapas do protocolo de interação.



(a) Fonte: Elaboração própria.

A Figura 14 é uma nova versão da Figura 10 com destaques para cada uma das etapas da transferência de conhecimento na organização de agentes. A primeira etapa (1) é aquela em que o Organizador define o papel que participará da transferência de conhecimento, através de um método denominado chamada para a transferência.

Estão destacadas as linhas 33 a 35 do código do Organizador na Figura 15. O agente com este papel escolhe o agente Paulo para o processo de transferência de conhecimento e envia uma mensagem contendo uma *string* e a condição.

Figura 15: O Organizador escolhe o agente Paulo para a transferência de conhecimento.

```
33 // call agent paulo for transfer, define condition
34 .print("call agent for transfer");
35 .send(paulo,tell,callfortransfer(accept,true));
```

(a) Fonte: Elaboração própria.

A segunda etapa da Figura 14 (2) implica na utilização da crença chamada para a transferência, definida na biblioteca de funções. Nesta parte é enviada ao Organizador a resposta do agente Paulo, como informa ou falha. Para tal é determinada uma *string* contendo o termo “aceita” ou “rejeita” e a condição de verdadeiro ou falso. A Figura 16 traz as duas possíveis respostas do agente Paulo para o Organizador.

Figura 16: O método de chamada para a transferência.

```
1 +callfortransfer(X,C) : X == 'accept' & C == true
2 <-
3 .send(organizer,tell,callfortransfer(inform,C));
4 .print("Answer: ", X);
5 .
6
7 +callfortransfer(X,C) : X == 'reject' & C == false
8 <-
9 .send(organizer,tell,callfortransfer(cancel,C));
10 .print("Answer: ", X);
11 .
```

(a) Fonte: Elaboração própria.

Na terceira etapa (3) é transferido pelo Organizador o conhecimento para o agente Paulo, com a condição de verdadeiro, que passa a desempenhar o papel de atacante e possui como objetivo atingir g2. O mesmo papel e objetivo do agente Felipe. A Figura 17 é o recorte de linhas de código do Organizador que realiza essa etapa, enviando o papel para o agente. O código completo do Organizador está na Figura 21. Já os códigos dos agentes Paulo e Felipe estão apresentados na Figura 22.

Figura 17: O Organizador envia o papel de atacante para o agente Paulo.

```

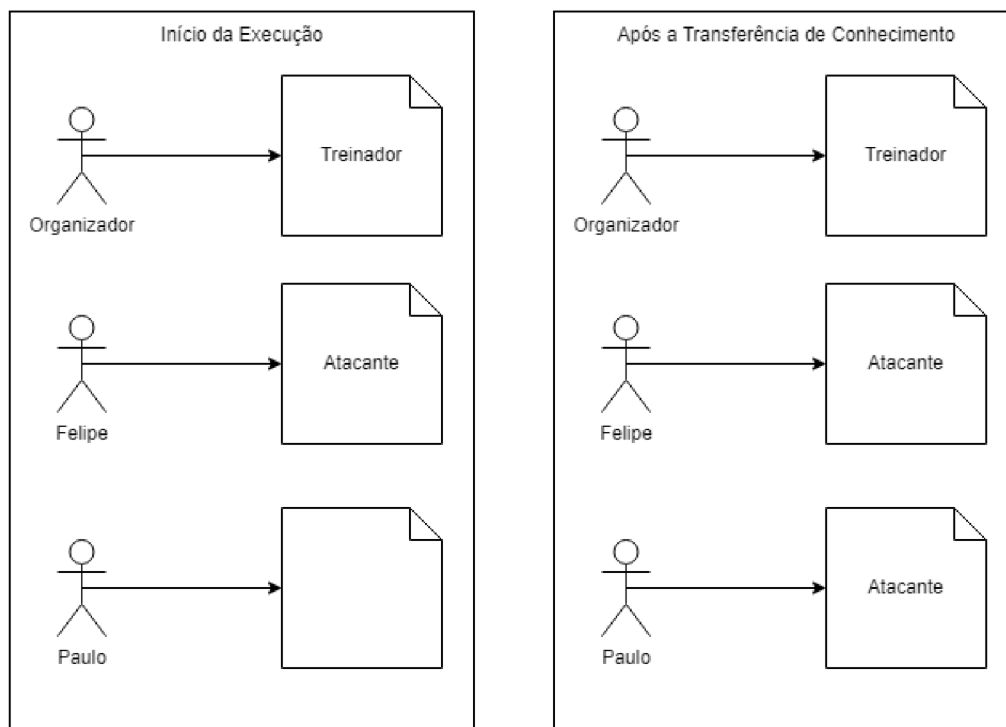
37 // make agent paulo play as attacker
38 .send(paulo,achieve,adopt_role(attacker,grp1,true));

```

(a) Fonte: Adaptado de Hübner (2022).

Ao fim da execução, com base no exemplo do futebol de robôs, o Organizador é o subpapel treinador e os agentes Paulo e Felipe estão com os papéis de atacantes. A Figura 18 apresenta os papéis durante a execução do programa, desde o início até o fim do processo de transferência de conhecimento. Já a Figura 19 é o console de execução gerado no JaCaMo.

Figura 18: Os papéis dos agentes durante a execução do MoiseLight.



(a) Fonte: Elaboração própria.

Figura 19: O console de execução do MoiseLight no JaCaMo.

```
CArtAg0 Http Server running on http://192.168.2.104:3316
Jason Http Server running on http://192.168.2.104:3317
Moise Http Server running on http://192.168.2.104:3318
[felipe] I am obliged to commit to g2 on s1... doing so
[organizer] setting g0 as achieved
[organizer] call agent for transfer
[paulo] Answer: accept
[organizer] doing g1
[paulo] I am obliged to commit to g2 on s1... doing so
[felipe] doing g2 on s1
[paulo] doing g2 on s1
[organizer] Finished!
```

(a) Fonte: Elaboração própria.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta dissertação de mestrado apresentou um modelo organizacional para a transferência de conhecimento em organizações de agentes. Com base em conceitos encontrados na literatura da área de sistemas multiagente, trabalhou-se em relação as dimensões definidas como agentes, organizações e sociedades, considerando as diferentes complexidades para o tratamento de transferência de conhecimento, conforme é apresentado pelas Figuras 1 e 6. Essas complexidades estão relacionadas a quantidade de organizações e de papéis existentes no modelo.

No decorrer da pesquisa constatou-se a necessidade da existência de ao menos um agente centralizador na organização, que assume o papel de Organizador, para observar a organização como um todo e realizar os processos para a transferência de conhecimento entre os agentes e seus respectivos papéis. A estrutura do papel Organizador é esboçada na Tabela 6.

O modelo em questão é definido de acordo com as Figuras 7 e 8, que demonstram a comunicação entre o ambiente, a organização e os agentes. De forma prática, este modelo é esquematizado nas dimensões do JaCaMo conforme a Figura 13, que utiliza como exemplo prático o futebol de robôs, *Soccer Team*, para uma melhor compreensão dos tópicos discutidos. A especificação estrutural do *Soccer Team* é encontrada na Figura 9.

Um protocolo de interação e comunicação foi modelado a fim de apontar como o agente com a função de Organizador se comunica com os demais agentes no sistema, através de um método de chamada para a transferência. As Figuras 10 e 11 apresentam a versão do *Contract-Net Protocol* para o modelo. Os testes realizados no MoiseLight obedeceram as diretrizes estabelecidas no protocolo.

Com a confecção dos primeiros diagramas e as discussões sobre o modelo e o avanço da pesquisa, optou-se por trabalhar a partir de uma única organização de agentes, com a transferência de conhecimento acontecendo entre os agentes por meio da atuação do Organizador. De todo modo, foram modeladas situações para a transferência de conhecimento entre duas organizações, bem como o protocolo de interação e comunicação entre as diferentes organizações.

O MoiseLight se provou uma escolha adequada para a visualização do modelo proposto. Com a possibilidade de uma construção dinâmica da organização em tempo de execução a partir de um agente central, as métricas do papel Organizador encaixaram-se com a implementação e se mostraram funcionais para a validação do processo de transferência de conhecimento.

Desta forma, entende-se que foram alcançados os objetivos elencados na introdução do presente trabalho. O modelo organizacional desenvolvido é adaptável para outros modelos organizacionais além do Moise+, e considera-se uma importante contribuição para área de sistemas multiagente, em conjunto com seu protocolo de interação, a classificação dos diferentes níveis para a transferência de conhecimento, e a revisão do estado da arte a respeito dos conceitos abordados durante a pesquisa.

6.1 Trabalhos Futuros

Como trabalhos futuros vislumbra-se:

- A extensão da implementação para duas ou mais organizações;
- A adição de medidas para capacidades e habilidades dos agentes;
- O desenvolvimento de novas diretrizes e políticas de permissão para acesso a planos e objetivos no MoiseLight.

Outro aspecto a ser considerado para próximas pesquisas é a definição de quais são as melhores estratégias para transferência de conhecimento em relação a busca por flexibilidade para o fluxo de dados entre os agentes, além do desempenho computacional afetado por estas estratégias.

6.2 Limitações da Pesquisa

Observa-se como uma das limitações da pesquisa atual a determinação do que de fato inicia o processo de transferência de conhecimento em organizações de agentes. Com base na modelagem desenvolvida e na literatura existente, foi possível apontar que este *trigger* ocorre no domínio da aplicação, que contém os variados recursos disponíveis ao ambiente. Todavia, uma formalização deste processo se impõem necessária para demais trabalhos que abordem a transferência de conhecimento no nível organizacional em sistemas multiagente. Aponta-se também que não foi possível, em virtude do tempo para a elaboração dessa dissertação de mestrado, desenvolver no Moise+, por meio do MoiseLight, uma aplicação mais robusta para verificar a transferência de conhecimento em duas ou mais organizações, conforme é proposto na modelagem da Figura 8 e no protocolo de interação da Figura 11.

REFERÊNCIAS

ARGENTE, E.; JULIAN, V.; BOTTI, V. Multi-agent system development based on organizations. *Electronic Notes in Theoretical Computer Science*, Elsevier, v. 150, n. 3, p. 55–71, 2006.

BALDONI, M. et al. Distributing responsibilities for exception handling in jacamo demonstration track. In: *20th International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems (AAMAS 2021)*. [S.l.: s.n.], 2021.

BOISSIER, O. et al. *Multi-agent oriented programming: programming multi-agent systems using JaCaMo*. [S.l.]: MIT Press, 2020.

BORDINI, R.; HÜBNER, J. Bdi agent programming in agentspeak using jason. In: . [S.l.: s.n.], 2006. p. 143–164. ISBN 978-3-540-33996-0.

BRENNER, W.; WITTIG, H.; ZARNEKOW, R. *Intelligent Software Agents: Foundations and Applications*. 1st. ed. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 1998. ISBN 3540634118.

COSTA, A. C. da R. *A Variational Basis for the Regulation and Structuration Mechanisms of Agent Societies*. [S.l.]: Springer, 2019.

DEMAZEAU, Y. From interactions to collective behaviour in agent-based systems. In: CITESEER. In: *Proceedings of the 1st. European Conference on Cognitive Science. Saint-Malo*. [S.l.], 1995.

DIGNUM, V.; DIGNUM, F. Structures for agent organizations. In: IEEE. *International Conference on Integration of Knowledge Intensive Multi-Agent Systems, 2005*. [S.l.], 2005. p. 215–220.

FERBER, J.; GUTKNECHT, O.; MICHEL, F. From agents to organizations: an organizational view of multi-agent systems. In: SPRINGER. *International workshop on agent-oriented software engineering*. [S.l.], 2003. p. 214–230.

FIPA. Fipa iterated contract net interaction protocol specification. 2000.

FROZZA, R. Simula: Ambiente para desenvolvimento de sistemas multiagentes reativos. 1997.

GROVER, A. et al. Learning policy representations in multiagent systems. In: PMLR. *International conference on machine learning*. [S.l.], 2018. p. 1802–1811.

- HANNOUN, M. et al. Moise: An organizational model for multi-agent systems. In: *Advances in Artificial Intelligence*. [S.l.]: Springer, 2000. p. 156–165.
- HU, Y.; GAO, Y.; AN, B. Learning in multi-agent systems with sparse interactions by knowledge transfer and game abstraction. In: *Proceedings of the 2015 International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems*. [S.l.: s.n.], 2015. p. 753–761.
- HÜBNER, J.; BORDINI, R.; VIEIRA, R. Introdução ao desenvolvimento de sistemas multiagentes com jason. 08 2022.
- HÜBNER, J.; SICHMAN, J. A model for the structural, functional, and deontic specification of organizations in multiagent systems. In: . [S.l.: s.n.], 2002. p. 118–128. ISBN 3-540-00124-7.
- HÜBNER, J. F. *Um modelo de reorganização de sistemas multiagentes*. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, 2003.
- HÜBNER, J. F. *MoiseLight*. 2022. Acessado em 15 de abril de 2022. Disponível em: <https://github.com/moise-lang/moise/tree/master/examples/moiselight>.
- HUHNS, M. N.; STEPHENS, L. M. Multiagent systems and societies of agents. *Multiagent systems: a modern approach to distributed artificial intelligence*, MIT press Cambridge eMA MA, v. 1, p. 79–114, 1999.
- HUZITA, E. H. M.; OLIVEIRA, H. M. de; LAINE, J. M. Uma proposta de arquitetura de software baseada em agentes. *Acta Scientiarum. Technology*, v. 22, p. 1339–1346, 2000.
- JENNINGS, N. R. On agent-based software engineering. *Artificial intelligence*, Elsevier, v. 117, n. 2, p. 277–296, 2000.
- LEMAÎTRE, C.; EXCELENTE, C. B. Multi-agent organization approach. In: TOLEDO. *Proceedings of II Iberoamerican Workshop on DAI and MAS*. [S.l.], 1998. p. 7–16.
- LESSER, V. R. Cooperative multiagent systems: A personal view of the state of the art. *IEEE Transactions on knowledge and data engineering*, IEEE, v. 11, n. 1, p. 133–142, 1999.
- LIANG, Y.; LI, B. Parallel knowledge transfer in multi-agent reinforcement learning. *arXiv preprint arXiv:2003.13085*, 2020.
- MACHADO, R. A. *Testes em Sistemas Multiagentes sob Modelo Organizacional Moise+*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do Rio Grande, 2020.
- MAIA, A.; SICHMAN, J. Explicit representation of planning autonomy in moise organizational model. In: . [S.l.: s.n.], 2018. p. 384–389.
- MAIA, A. V. *Autonomia de planejamento no modelo organizacional MOISE*. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, 2018.
- MATSON, E.; DELOACH, S. Formal transition in agent organizations. In: IEEE. *International Conference on Integration of Knowledge Intensive Multi-Agent Systems*, 2005. [S.l.], 2005. p. 235–240.

MCARTHUR, S. D. et al. Multi-agent systems for power engineering applications—part i: Concepts, approaches, and technical challenges. *IEEE Transactions on Power systems*, IEEE, v. 22, n. 4, p. 1743–1752, 2007.

NEWELL, A. The knowledge level. *Artificial intelligence*, Elsevier, v. 18, n. 1, p. 87–127, 1982.

PREMM, M.; KIRN, S. Autonomous agents in multiagent organizations. In: . [S.l.: s.n.], 2017. p. 121–128.

RICCI, A. et al. Environment programming in cartago. In: *Multi-agent programming*. [S.l.]: Springer, 2009. p. 259–288.

SHOHAM, Y.; TENNENHOLTZ, M. On social laws for artificial agent societies: Off-line design. *Artificial intelligence*, Elsevier, v. 73, n. 1-2, p. 231–252, 1995.

SILVA, F. *Methods and Algorithms for Knowledge Reuse in Multiagent Reinforcement Learning*. Tese (Doutorado), 09 2019.

SPAULDING, S.; SHEN, J. Towards transferrable personalized student models in educational games. In: *Proceedings of the 20th International Conference on Autonomous Agents and MultiAgent Systems (AAMAS'21)*. [S.l.: s.n.], 2021.

TAKADAMA, K.; TERANO, T.; SHIMOHARA, K. Which organizational knowledge is useful: rare, medium, or well-done?-comparison of different levels of organizational knowledge in multiagent environments. In: IEEE. *2000 26th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society. IECON 2000. 2000 IEEE International Conference on Industrial Electronics, Control and Instrumentation. 21st Century Technologies*. [S.l.], 2000. v. 4, p. 2891–2896.

TAYLOR, M. E.; KUHLMANN, G.; STONE, P. Autonomous transfer for reinforcement learning. In: *AAMAS (1)*. [S.l.: s.n.], 2008. p. 283–290.

TUYLS, K.; STONE, P. Multiagent learning paradigms. In: *Multi-Agent Systems and Agreement Technologies*. [S.l.]: Springer, 2017. p. 3–21.

WOOLDRIDGE, M. Intelligent agents. *Multiagent systems: A modern approach to distributed artificial intelligence*, v. 1, p. 27–73, 1999.

ŻYTNIIEWSKI, M. et al. Modeling of software agents' societies in knowledge-based organizations. the results of the study. In: IEEE. *2015 Federated Conference on Computer Science and Information Systems (FedCSIS)*. [S.l.], 2015. p. 1603–1610.

A APÊNDICE - CÓDIGOS AGENTSPEAK (L)

Figura 20: Biblioteca de funções do modelo.

```
1=+callfortransfer(X,C) : X == 'accept' & C == true
2 <-
3=   .send(organizer,tell,callfortransfer(inform,C));
4   .print("Answer: ", X);
5 .
6
7=+callfortransfer(X,C) : X == 'reject' & C == false
8 <-
9=   .send(organizer,tell,callfortransfer(cancel,C));
10  .print("Answer: ", X);
11 .
12
13=+!adopt_role(R,G,C) : C == true
14=   <- lookupArtifact(G,A);
15=   focus(A);
16   adoptRole(R);
17 .
18
19 { include("$jacamoJar/templates/common-cartago.asl") }
20 { include("$jacamoJar/templates/common-moise.asl") }
21
22 // uncomment the include below to have an agent compliant with its organisation
23 { include("$moiseJar/asl/org-obedient.asl") }
```

(a) Fonte: Adaptado de Hübner (2022).

Figura 21: Código completo do Organizador.

```

1  !start.
2
3  +!start
4  <- makeArtifact(tml,"ora4mas.light.LightOrgBoard",[],0Ia);
5  focus(0Ia);
6  createGroup(grp1,Gid);
7  focus(Gid);
8  //Organizer becomes the team coach
9  adoptRole(coach);
10
11 // tell agent felipe to play as attacker, define condition
12 .send(felipe,achieve,adopt_role(attacker,grp1,true));
13
14 createScheme(s1,Sid);
15 focus(Sid);
16 addScheme(s1);
17
18 // add a norm to oblige felipe (as a attacker) to commit to g2
19 addNorm(obligation,attacker,g2);
20
21 // create a new goal g1, that depends on goal g0
22 addGoal(g1,[g0]);
23 addGoal(g2,[g1]);
24
25 // Organizer commentments
26 commitGoal(g1);
27 debug(Inspector_gui(on))[artifact_id(Sid)];
28
29 .wait(2000);
30 .print("setting g0 as achieved");
31 goalAchieved(g0);
32
33 // call agent paulo for transfer, define condition
34 .print("call agent paulo for transfer");
35 .send(paulo,tell,callfortransfer(accept,true));
36
37 // make agent paulo play as attacker
38 .send(paulo,achieve,adopt_role(attacker,grp1,true));
39 .
40
41 +!g1 <- .print("doing g1"); .wait(1000).
42
43 +goalState(s1,g2,_,_,satisfied)
44 <- .print("Finished!");
45 destroyScheme(s1);
46 destroyGroup(grp1);
47 .
48
49 { include("functions.asl") }

```

(a) Fonte: Adaptado de Hübner (2022).

Figura 22: Código dos agentes Paulo e Felipe.

```
1 +!g2[scheme(S)] <- .print("doing g2 on ", S) .wait(2000); .
2
3 { include("functions.asl") }
```

(a) Fonte: Adaptado de Hübner (2022).

Figura 23: Código da perspectiva JaCaMo.

```
1 /*
2   testmoiselight
3   -----
4
5   illustrate Moise Light
6 */
7
8 mas testmoiselight {
9
10  agent organizer
11  agent paulo
12  agent felipe
13
14 }
```

(a) Fonte: Adaptado de Hübner (2022).