



Universidade de Brasília

Instituto de Ciências Exatas
Departamento de Ciência da Computação

Estudo, Definição e Implementação de Ambiente de Ensino-Aprendizagem com Arquitetura de Agentes e Modelo Multidimensional de Aprendizagem

João Paulo de Freitas Matos

Monografia apresentada como requisito parcial
para conclusão do Bacharelado em Ciência da Computação

Orientadora
Prof. Célia Ghedini Ralha

Brasília
2013

Universidade de Brasília — UnB
Instituto de Ciências Exatas
Departamento de Ciência da Computação
Bacharelado em Ciência da Computação

Coordenadora: Prof. Maristela Terto Holanda

Banca examinadora composta por:

Prof. Célia Ghedini Ralha (Orientadora) — CIC/UnB
Prof. Germana Nóbrega de Menezes — CIC/UnB
Prof. Fernanda Lima — CIC/UnB

CIP — Catalogação Internacional na Publicação

Matos, João Paulo de Freitas.

Estudo, Definição e Implementação de Ambiente de Ensino-Aprendizagem com Arquitetura de Agentes e Modelo Multidimensional de Aprendizagem / João Paulo de Freitas Matos. Brasília : UnB, 2013.
83 p. : il. ; 29,5 cm.

Monografia (Graduação) — Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

1. Sistemas Multiagentes, 2. Informática na Educação, 3. Modelo Multidimensional

CDU 004.4

Endereço: Universidade de Brasília
Campus Universitário Darcy Ribeiro — Asa Norte
CEP 70910-900
Brasília-DF — Brasil



Estudo, Definição e Implementação de Ambiente de Ensino-Aprendizagem com Arquitetura de Agentes e Modelo Multidimensional de Aprendizagem

Monografia apresentada como requisito parcial
para conclusão do Bacharelado em Ciência da Computação

Prof. Germana Nóbrega de Menezes Prof. Fernanda Lima
CIC/UnB CIC/UnB

Prof. Maristela Terto Holanda
Coordenadora do Bacharelado em Ciência da Computação

Brasília, 12 de Março de 2013

Dedicatória

Dedico a....

Agradecimentos

Agradeço a....

Resumo

A ciência...

Palavras-chave: Sistemas Multiagentes, Informática na Educação, Modelo Multidimensional

Abstract

The science...

Keywords: Multiagent Systems, Informatics in Education, Multidimensional Model

Sumário

1	Introdução	1
1.1	Problema	2
1.2	Objetivos	2
1.3	Metodologia	2
1.4	Estrutura do Trabalho	3
2	Fundamentos básicos	4
2.1	Informática na Educação	4
2.1.1	Estilo de Aprendizagem	5
2.1.2	Diagnóstico do Estilos de Aprendizagem	7
2.2	Sistemas Multiagente	8
2.2.1	Conceitos	9
2.2.2	Arquiteturas de agentes	12
2.2.3	Definição de Sistemas Multiagente	13
2.2.4	Comunicação	14
2.2.5	Linguagem de Comunicação de Agentes FIPA	18
2.2.6	Ontologias	20
2.3	Metodologias de Sistemas Multiagente	21
2.3.1	Análise	23
2.3.2	Design	25
2.4	Estudos de Ferramentas e Tecnologias Relacionadas	28
2.4.1	Unified Modeling Language	29
2.4.2	Java Agent Development Framework	35
2.4.3	JBoss Seam	38
2.5	Trabalhos Correlatos	39
3	Proposta de Solução	41
3.1	Metodologia	42
3.2	A Modelagem	42
3.2.1	Análise	42
3.2.2	Design	54
3.3	Arquitetura	57
3.3.1	Frank Web	57
3.3.2	SMA Frank	58
3.3.3	Aspectos da Integração	58

4	Experimentações	60
4.1	Metodologia de Testes	60
4.2	Demonstração da Interface com Aluno	60
4.3	Demonstração da Interface com Docente	62
4.4	Resultados	66
5	Conclusões e Trabalhos Futuros	67
	Referências	69

Lista de Figuras

2.1	Representação do funcionamento básico do agente em um ambiente.	10
2.2	Ontologias superiores do mundo, cada uma indicando um conceito ou especialização do seu superior.	20
2.3	Representação utilizada no MASE Role Model.	24
2.4	Representação utilizada no <i>Concurrent Task Diagram</i>	25
2.5	Representação utilizada no <i>Agent Class Diagram</i>	26
2.6	Exemplo de conversação utilizada no Diagrama de Comunicação do lado do iniciador da conversação.	27
2.7	Notação utilizada na arquitetura de agentes.	27
2.8	Notação utilizada no diagrama de deploy.	28
2.9	Interface da ferramenta <i>AgentTool</i>	29
2.10	Categorização dos Diagramas UML 2.0. Adaptado de [20].	31
2.11	Sugestões de notação de caso de uso proposto por [27]	33
2.12	Notação de diagrama de sequência, exibindo a comunicação de um ator e uma entidade (sistema)	34
2.13	Representação da arquitetura principal do JADE. Adaptado de [14].	36
2.14	Apresentação da Interface do agente RMA	38
2.15	Representação da pilha de aplicações do Seam. [10]	39
3.1	Diagrama de sequência do fluxo principal, caso de uso 1.	46
3.2	Diagrama de sequência do fluxo de exceção, caso de uso 1.	47
3.3	Diagrama de sequência do fluxo principal, caso de uso 3.	47
3.4	Diagrama de sequência do fluxo principal, caso de uso 4.	48
3.5	Diagrama de sequência do fluxo principal, caso de uso 5.	49
3.6	Diagrama <i>MASE Role Model</i> gerado para o SMA Frank.	50
3.7	Detalhamento da tarefa "Validar Dados" que pertence à regra <i>WebServiceInterface</i>	50
3.8	Detalhamento da tarefa "Enviar Questionário" que pertence à regra <i>StudentInterface</i>	51
3.9	Detalhamento da tarefa "Autenticar Aluno" que pertence à regra <i>StudentInterface</i>	51
3.10	Detalhamento da tarefa "Determinar WG do Aluno" que pertence à regra <i>Manager</i>	51
3.11	Detalhamento da tarefa "Criar Workgroup" que pertence à regra <i>Manager</i>	52
3.12	Detalhamento da tarefa "Processar Dados" que pertence à regra <i>StudentWorkgroup</i>	52

3.13	Detalhamento da tarefa "Atualizar Modelos"que pertence à regra <i>StudentWorkgroup</i>	53
3.14	Detalhamento da tarefa "Inferir Modelo Afetivo"que pertence à regra <i>AffectiveAction</i>	53
3.15	Detalhamento da tarefa "Inferir Modelo Metacognitivo"que pertence à regra <i>MetacognitiveAction</i>	53
3.16	Detalhamento da tarefa "Analisar Estilo de Aprendizagem"que pertence à regra <i>LearningMethodAnalyzer</i>	54
3.17	Diagrama de Classes do SMA Frank.	54
3.18	Detalhamento da Conversação 1 no lado do Iniciador.	55
3.19	Detalhamento da Conversação 1 no lado do Respondedor.	55
3.20	Detalhamento da Conversação 4 no lado iniciador.	56
3.21	Detalhamento da Conversação 4 no lado iniciador.	56
3.22	Detalhamento da Conversação 7 no lado iniciador.	56
3.23	Detalhamento da Conversação 7 no lado recebedor.	57
4.1	Fluxo de Execução para Experimentação do Perfil Aluno.	61
4.2	Tela Inicial do Sistema.	61
4.3	Tela de Autenticação do Sistema.	62
4.4	Tela de Erro de Autenticação do Sistema.	63
4.5	Tela de convite ao preenchimento do questionário de estilos de aprendizagem.	63
4.6	Tela de preenchimento do questionário.	64
4.7	Tela de visualização do estilo de aprendizagem inferido.	64
4.8	Fluxo de Execução para Experimentação do Perfil Docente.	65
4.9	Tela inicial do usuário com o perfil de docente.	65
4.10	Tela de visualização do estilo de aprendizagem por turma.	66

Lista de Tabelas

2.1	Estilos de Aprendizagem definidos por Kolb	6
2.2	Distribuição de Perguntas no Questionário de Estilo de Aprendizagem. Adaptado de [28]	8
2.3	Listagem de SMA com propriedades de medida de performance, ambiente, atuadores e sensores	11
2.4	Listagem de atributos de uma mensagem em KQML	16
2.5	Listagem de Enunciados Performativos	19
2.6	Estruturação Detalhada de Caso de Uso	32
3.1	Hierarquia de Metas do SMA Frank.	45
3.2	Estruturação das Tarefas por Regra	49

Capítulo 1

Introdução

Cada pessoa possui uma forma preferencial de absorção do conhecimento. Seja por imagens, textos, teoria ou prática, durante uma situação de aprendizagem todos tendem a receber e processar melhor as informações que são recebidas de certa maneira, em detrimento a outras. Essa forma de recepção do conhecimento é nomeada estilo de aprendizagem.

O acesso à recursos tecnológicos que, outrora caros e difíceis, tornaram-se presentes no cotidiano de muitas pessoas devido a facilidade de aquisição. Dessa forma, a viabilidade do aprendizado por meio do computador aumentou e começa a modificar o paradigma do professor detentor do conhecimento e o único responsável pela sua transmissão.

Em um ambiente escolar a forma didática escolhida por um docente pode afetar o desempenho dos seus alunos, visto que a forma de transmissão do conhecimento escolhida pode desprivilegiar alguns estudantes. A situação ideal requer a existência de uma personalização do ensino para cada estudante, considerando as características inerentes à sua cognição. Inspirado por esse ideal, algumas ferramentas no âmbito da computação pretendem planejar o ensino personalizado para cada estudante de acordo com o seu perfil de utilização, primeiramente pelo grande acesso da sociedade à computadores e também devido à diversos estudos relacionados na área de educação.

Conhecer os fatores relacionados ao processo de aprendizagem exige que as ferramentas computacionais aplicadas ao ensino consigam determinar eficientemente os estilos de aprendizagem. Assim, a complexidade das aplicações aumenta devido às abordagens que serão empregadas, bem como a exigência de processamento que podem exigir.

Algumas abordagens visam diminuir essa complexidade, permitindo a representação aproximada das características dos alunos em ambientes computacionais, de forma que possam coexistir em um mesmo ambiente vários modelos de estudantes. Por exemplo, o modelo do estudante elaborado na forma multidimensional a partir dos universos cognitivo, metacognitivo e afetivo.

Somado à isso, técnicas de computação distribuída são projetadas para rodar de forma descentralizada, com componentes e serviços rodando em diversos lugares distintos e comunicando-se uma com as outras através de mensagens. A arquitetura dessas aplicações é projetada objetivando o alto paralelismo, exibibilidade, interoperabilidade, dentre outros aspectos.

Portanto, determinar o estilo de aprendizagem mostra-se uma estratégia fundamental para que a transmissão de informações e vivências entre alunos e professores torne-se mais

eficaz e perceptível, promovendo a criação de informações cada vez mais relevantes para o planejamento, acompanhamento e avaliação dos aprendizes.

1.1 Problema

Os ambientes educacionais de aprendizagem não possuem uma arquitetura apropriada para a inferência de modelos multidimensionais, pois a abordagem baseada em cliente-servidor não é razoável para representação de perfis de alunos no ambiente.

1.2 Objetivos

Tendo em vista o cenário atual apresentado, o presente trabalho tem como objetivo definir uma arquitetura distribuída na Web para auxiliar o processo de ensino-aprendizagem por meio da abordagem de Sistema multiagente (SMA).

Esta abordagem permitirá a construção e manutenção de um modelo multidimensional do estudante, a partir do qual os estilos de aprendizagem desse estudante poderão ser identificados e informados ao docente. A abordagem de sistemas multiagentes permite a decomposição do problema na modelagem multidimensional em vários subproblemas menores, diminuindo a complexidade da resolução. Além disso, a habilidade social dos agentes pode permitir a interação com outros modelos de alunos visando comparações e validações do modelo.

Especificamente, os objetivos específicos deste trabalho são:

- Projeto da arquitetura geral de um sistema multiagente, utilizando-se de uma metodologia apropriada;
- Definir e implementar a arquitetura geral da solução, incluindo os agentes assistentes de cognição, metacognição e afetivo;
- Propor uma interface do agente assistente de cognição com os atores externos do sistema: Docente e Estudante;

1.3 Metodologia

A metodologia utilizada para a realização deste trabalho é composta das seguintes atividades:

- Estudo dos conceitos de Informática na Educação, Sistemas Multiagentes e metodologia MASE, importantes para a orientação do desenvolvimento deste trabalho com base na teoria e garantir as melhores práticas.
- Estudo e pesquisa do *middleware* JADE e a sua integração com aplicações externas.
- Baseado nos estudos feitos, desenvolver a modelagem da Solução utilizando a metodologia MASE a qual define o desenvolvimento da solução através de uma série de diagramas que irão justificar as escolhas da arquitetura proposta.
- Desenvolvimento da aplicação multiagente com base na pesquisa a respeito do *JADE*.

- Desenvolvimento da aplicação web e a sua integração com o sistema multiagente.
- Testes em laboratório da solução desenvolvida e suas conclusões. Os testes deste trabalho serão realizados por meio de simulações com alunos e docentes. Considerando o cenário do aluno, ele deve autenticar-se e utilizar o sistema para a verificação do seu estilo de aprendizagem, bem como visualizar a criação dos agentes do seu grupo de trabalho. O cenário do docente deve possibilitar a visualização do estilo de aprendizagem dos seus alunos.

Usando tecnologias existentes e consolidadas, a arquitetura proposta irá usar o framework *JADE*, que é completamente desenvolvido na linguagem *JAVA* e simplifica a implementação de Sistemas Multiagentes (SMA) que cumprem as especificações FIPA. A arquitetura proposta também englobará uma interface web que utiliza a plataforma *open source JBoss Seam*, desenvolvida para auxiliar a construção de aplicações dinâmicas para a internet de forma simples e ágil.

1.4 Estrutura do Trabalho

Este trabalho consiste na divisão de capítulos visando facilitar a leitura e organizar os conceitos que perfazem o desenvolvimento deste trabalho:

- Capítulo 2 apresenta uma breve visão sobre as áreas de estudo envolvidas neste trabalho que são Informática na Educação, Sistema Multiagente, bem como algumas ferramentas e tecnologias.
- Capítulo 3 contém a proposta de solução composta pela metodologia, modelagem da arquitetura e implementação.
- Capítulo 4 exhibe os testes realizados em laboratório por meio dos cenários de uso definidos: Aluno e Docente.
- Por fim, o capítulo 5 apresenta as conclusões e abre perspectivas para trabalhos futuros.

Capítulo 2

Fundamentos básicos

Este capítulo apresenta os principais conceitos e definições necessários para o entendimento deste trabalho. Dividido em 4 seções, a primeira delas apresenta a teoria a respeito de Informática na Educação. A seção 2.2 aborda os conceitos de SMA necessários ao entendimento deste trabalho. A seção 2.3 apresenta a teoria acerca da metodologia MASE e suas fases de desenvolvimento. A seção 2.4 reúne um estudo de ferramentas e tecnologias relacionadas a este trabalho. Por fim, a seção 2.5 aborda alguns trabalhos correlatos.

2.1 Informática na Educação

A Informática na Educação (IE) constitui-se um importante ramo de estudo. O uso do computador como meio de educação tornou-se essencial atualmente. Popularizando meios inacessíveis em um passado recente, a aquisição de conhecimento foi simplificada e reduziu-se a um computador com conexão com a internet para o acesso a diversos tipos de conhecimento.

O computador passa então a ser uma forma de ensino, ocasionando na descentralização da figura do professor neste processo e, segundo [18], promove o desenvolvimento cognitivo por meio de uma interação maior entre o aluno e o objeto de conhecimento.

Com o crescimento da internet, surgem ambientes específicos para aplicações interativas que auxiliam o estudante. Estes ambientes, chamados de Ambientes Virtuais de Aprendizagem (AVA), surgiram na década de 90 com os cursos à distância e mais tarde com ferramentas interativas e em tempo real [28]. Da necessidade em organizar as informações geradas pelos AVA, surgiram os Sistemas Gerenciadores de Conteúdo e Aprendizagem (LCMS - Learning and Content Managment System).

A interação entre as ferramentas tornou-se cada vez maior e tornou-se cada vez mais necessário o ensino personalizado ao estudante. A personalização está relacionada com a forma específica que cada estudante tem ao lidar com informações, a melhor forma de aprender e as suas habilidades. Entre outras palavras, os Sistemas começaram a interagir mais com os alunos a fim de determinar a forma como os alunos percebem e processam as informações.

2.1.1 Estilo de Aprendizagem

O estilo de aprendizagem é a forma mais eficiente em que o estudante absorve conhecimento ao receber e processar uma informação. Um modelo de estilo de aprendizagem visa classificar um estudante de acordo com uma escala que, organiza as formas as quais são possíveis receber e processar o conhecimento [19]. Estilos de aprendizagem não classificam em uma escala melhor ou pior do que outro estilo de aprendizagem, apenas categoriza o aluno de acordo com a forma de aprender.

O estilo de aprendizagem pode orientar melhor um docente a estimular um aluno durante o processo de desenvolvimento de suas habilidades, alterando o ambiente para o aluno de acordo com o estilo de forma a individualizar o processo didático do ensino. Existem diversos modelos de estilos de aprendizagem propostos na literatura, no entanto será apresentado neste trabalho as teorias mais importantes dos modelos de estudantes.

Modelo de *Kolb*

A teoria de *Kolb* [26] propõe uma perspectiva chamada de teoria experimental do aprendizado, pois enfatiza o fato da experiência no processo de aprendizagem. Kolb inicialmente baseia-se em um ciclo de aprendizado de quatro estágios: Experiência Concreta, observação reflexiva, conceituação abstrata e experimentação ativa. Basicamente o ciclo funciona de forma a iniciar nas experiências concretas prover fundamentos para o ciclo da observação reflexiva. A partir de observações e reflexões, novos conceitos abstratos são formados. Esses conceitos podem implicar em ações que podem ser colocadas em prática, criando assim novas experiências.

A Tabela 2.1 exibe os estilos de aprendizagem propostos por *Kolb* combinados com o ciclo de aprendizado e a separação em quatro categorias.

Modelo de *Felder*

O modelo de Felder [19] divide os seguintes estilos de aprendizagem:

- Sensorial/Intuitivo.
- Visual/Verbal.
- Activo/Reflexivo.
- Sequencial/Global.

O estilo sensorial categoriza alunos que favorecem o aprendizado por meio dos seus sentidos. Com tendências a serem práticos no processo da aprendizagem, costumam lidar melhor com fatos e observações. Dessa forma, algumas disciplinas que focam em conceitos abstratos, teorias, fórmulas (como física e química) tendem a ser mais complicadas para estes alunos.

Alunos do estilo intuitivo favorecem informações que florescem em seu raciocínio interno, como a memória, situações imaginárias e por meio de reflexões. Eles normalmente gostam variar o tipo de trabalho, não se importando com a complexidade do trabalho.

A categoria Visual agrupa alunos com mais eficiência em aprender com imagens, diferentemente dos alunos da Verbal categoria que são eficientes em materiais verbais, palavras escritas e discursos.

Tabela 2.1: Estilos de Aprendizagem definidos por Kolb

Estilo de Aprendizagem	Ciclos	Descrição
Divergente	Experiência Concreta, Observação Reflexiva	Pessoas que utilizam a imaginação com mais facilidade para resolver problemas. São capazes de olhar um problema por diferentes perspectivas. Possuem maior interesse cultural e prazer pelo ganho da informação.
Assimilador	Conceituação Abstrata, Observação Reflexiva	Possuem uma aproximação maior de raciocínio lógico, onde há ênfase em idéias e conceitos. São menos focadas em pessoas e mais focadas em conceitos abstratos. Valorizam mais as explicações detalhadas do que uma oportunidade prática.
Convergente	Conceituação Abstrata, Experimentação Ativa	Possuem inclinação maior á situações práticas, onde utilizarão o seu conhecimento para resolver um problema de forma experimental.
Acomodador	Experiência Concreta, Experimentação Ativa	Usam-se de outras pessoas para suas análises, confiando em experiências de terceiros para tirar suas próprias conclusões.

Estudantes do estilo Ativo tendem a aprender de forma a realizar tentativas, expressar suas idéias, realizar experimentações. Geralmente, conseguem trabalhar muito bem em grupos devido ao favorecimento de praticar exemplos. Em oposição, os estudantes reflexivos preferem um raciocínio mais internalizado e pensam bastante a respeito antes de tentar algo. Geralmente, preferem trabalhar sozinhos ou em pares.

O estilo Sequencial reúne estudantes que entendem informações por meio de "fragmentos de conhecimento" conexos que, juntos, comporiam uma imagem completa do conhecimento. Podem ser capazes de resolver problemas com um entendimento incompleto acerca de algum domínio. Eles porém, por não possuir o domínio do conhecimento completo, carecem de conseguir correlacionar as informações com outras áreas.

Por fim, o estilo Global possui alunos que detêm domínio de grandes áreas de conhecimento, estes porém de forma desconexa. Em geral, ou detêm todo o conhecimento a respeito de algo, ou não sabem nada. O processamento aparentemente é geralmente lento, mas depois do domínio total, conseguem fazer muito mais conexões do que alunos com o estilo de aprendizagem Sequencial.

Modelo de *Honey e Mumford*

O modelo de Honey e Mumford faz uma alteração no ciclo de aprendizagem de Kolb e também define novos estilos de aprendizagem [28]:

- Ativo: Pessoas que garantem o seu aprendizado na prática.
- Pragmático: Pessoas que precisam identificar como aplicar no mundo real a teoria estudada. Possuem inclinação à experimentações e abordagens práticas.
- Reflexivo: Aprendem durante a observação e refletindo sobre determinada ação, sem necessariamente praticá-la. Visualizam a ação de diversas perspectivas para fomentar o seu conhecimento.
- Teórico: Primam o entendimento da teoria por trás das ações. O aprendizado de novas informações ocorre por modelos, conceitos e fatos.

Honey e Mumford desenvolveram duas versões de questionários de aprendizagem [24] para a determinação das preferências de aprendizagem do indivíduo.

2.1.2 Diagnóstico do Estilos de Aprendizagem

Existem várias formas possíveis de diagnosticar o estilo de aprendizagem. A forma de inferência por meio de questionário exige que o indivíduo a ser analisado responda uma série de questões que pertencem à várias dimensões de aprendizagem.

O questionário utilizado neste trabalho [28] foi escolhido por que baseia-se em vários outros instrumentos de investigação propostos por Butler, Felder e Silvermann, Honey e Mumford e Kolb (1984). O questionário analisa o aluno através de dezessete dimensões: Acomodador, Analítico, Assimilador, Ativo, Convergente, Divergente, Global, Intuitivo, Pessoal, Pragmático, Realista, Reflexivo, Sensorial, Sequencial, Teórico, Verbal, Visual. Cada dimensão possui três perguntas, totalizando o número de cinquenta e uma questões objetivas.

Tabela 2.2: Distribuição de Perguntas no Questionário de Estilo de Aprendizagem. Adaptado de [28]

Questões	Dimensão do Estilo de Aprendizagem
1,2,3	Estilo Sensorial
4,5,6	Estilo Intuitivo
7,8,9	Estilo Visual
10,11,12	Estilo Verbal
13,14,15	Estilo Sequencial
16,17,18	Estilo Global
19,20,21	Estilo Divergente
22,23,24	Estilo Assimilador
25,26,27	Estilo Convergente
28,29,30	Estilo Acomodador
31,32,33	Estilo Ativo
34,35,36	Estilo Reflexivo
37,38,39	Estilo Teórico
40,41,42	Estilo Pragmático
43,44,45	Estilo Realista
46,47,48	Estilo Analítico
49,50,51	Estilo Pessoal

As respostas possuem quatro alternativas: Discordo Totalmente, Discordo, Concordo e Concordo Totalmente, onde cada questão possui uma pontuação que corresponde respectivamente a 1, 2, 3 ou 4.

O estilo de aprendizagem é determinado por meio do somatório das respostas de cada dimensão de aprendizagem. A dimensão com maior pontuação é a predominante, apresentando-se então como o estilo de aprendizagem do aluno.

As questões das dimensões de aprendizagem foram distribuídas entre as perguntas no questionário 2.2. Foram inseridas três questões correspondentes à cada dimensão integrante dos modelos propostos por [28].

Esta seção expõe os principais modelos de estudante presentes na literatura da IE, assim como o questionário de estilo de aprendizagem como uma ferramenta capaz de determinação do estilo de aprendizagem do estudante deste trabalho. É necessário agora o entendimento de técnicas computacionais para a implementação deste questionário. A seção seguinte apresentará a teoria a respeito de SMA, que permeará o desenvolvimento deste trabalho de forma a orientar a abordagem da modelagem do Aluno neste trabalho, bem como definir alguns aspectos da infraestrutura do ambiente de ensino-aprendizagem.

2.2 Sistemas Multiagente

Esta seção visa expor os fundamentos acerca de SMA. Primeiramente serão apresentados os conceitos e definições iniciais a respeito da Inteligência Artificial (IA) e a teoria relacionada a agentes. Em seguida o trabalho disserta a respeito das arquiteturas rela-

cionadas aos agentes. Só então são apresentados os conceitos de SMA, os aspectos da comunicação neste ambiente e por fim a teoria sobre ontologias.

2.2.1 Conceitos

Em [31] é possível identificar que a definição de IA foi classificada em quatro grupos. A separação foi feita com base na classificação das definições conforme o seu entendimento de raciocínio, comportamento, performance humana e racionalidade. A racionalidade é entendida como um conceito ideal de inteligência inerente à um sistema. Os quatro grupos que definem IA são:

- Sistemas que pensam como humanos: Define IA em termos de raciocínio baseado no modelo cognitivo humano. A evidência de programas que podem operar como humanos é feita por meio comparação da entrada, saída e o tempo de execução com padrões humanos.
- Sistemas que pensam racionalmente: Esta definição está relacionada à lógica e procurava desenvolver programas que poderiam resolver qualquer problema descrito em uma linguagem formal com notações lógicas.
- Sistemas que agem como humanos: Os sistemas desta definição são classificados por meio do teste de *Turing*. O teste basicamente consiste de um entrevistador humano que, após algumas perguntas escritas ao programa, deve identificar se as respostas são ou não de um humano.
- Sistemas que agem racionalmente: Baseada na noção de agente racional, um agente é uma entidade que age e possui controle autônomo, percebe o ambiente, adapta a mudanças e é capaz de cumprir outras metas.

O crescimento dos estudos relacionados a IA permitiu a ramificação em diversas áreas de atuação, possibilitando a resolução de diversos desafios relacionados à aplicações modernas. Uma das áreas de atuação é o auxílio na execução de aplicações que resolvem problemas de alta complexidade.

A complexidade de várias aplicações exige muito de *hardwares* mais modestos e o seu tempo de execução é inviável, necessitando-se um maior investimento e consequentemente encarecendo o seu valor. Dessa forma outras abordagens fazem-se necessárias, como a distribuição da aplicação em vários computadores que dividem a sua execução. Este é o campo de estudo da Inteligência Artificial Moderna segundo a abordagem de Russel e Norvig [31]: Sistemas que são compostos por vários agentes coletivos, ou seja, distribuem o trabalho uns com os outros. Cada agente pode possuir uma capacidade diferente, sendo possível realizar a tarefa de modo paralelo.

Os agentes são entidades (reais ou virtuais) que funcionam de forma autônoma em um ambiente [31], ou seja, não necessitam de intervenção humana para realizar processamento. Esse ambiente de funcionamento do agente geralmente contém vários outros agentes e é possível a comunicação entre eles através do ambiente por meio de troca de mensagens.

A Figura 2.1 representa o funcionamento básico de agentes, existindo em um ambiente e atuando de forma a percebê-lo por meio de sensores, analisando os dados da interação inicial e agindo novamente sobre o ambiente de forma a modificá-lo pelos seus efetadores.

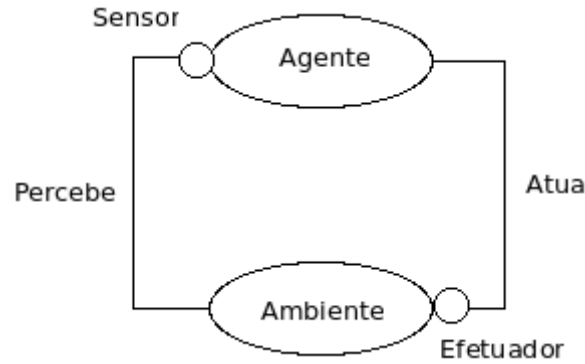


Figura 2.1: Representação do funcionamento básico do agente em um ambiente.

Alguns agentes seguem o princípio de racionalidade básico: sempre objetivam suas ações pela escolha da melhor ação possível segundo seus conhecimentos. Logo é possível inferir que a ação de um agente nem sempre alcança o máximo desempenho, sendo desempenho o parâmetro definido para medir o grau de sucesso da ação de um agente com base nos seus objetivos. São estes os chamados Agentes Racionais.

Como dito anteriormente, agentes estão presentes em um ambiente. O agente não tem controle total do ambiente, ele pode no máximo influenciá-lo com a sua atuação ou criar outros agentes. Podemos separar ambientes em classes: Software, Físico e Relidade virtual (simulação de ambientes reais em software). Em [37] temos, em geral, ambientes com propriedades inerentes à seu funcionamento:

- Observável: Neste tipo de ambiente, os sensores dos agentes conseguem ter percepção completa do ambiente. Por exemplo, um sensor de movimento consegue ter visão total em um ambiente aberto.
- Determinística: O próximo estado do ambiente é sempre conhecido dado o estado atual do ambiente e as ações dos agentes. O oposto do ambiente determinístico é o estocástico, quando não temos certeza do estado do ambiente. Por exemplo, agentes dependentes de eventos climáticos.
- Episódico: A experiência do agente é dividida em episódios, onde cada episódio é a percepção do agente e a sua ação.
- Sequencial: A ação tomada pelo agente pode afetar o estado do ambiente e ocasionar na mudança de estado
- Estático: O ambiente não é alterado enquanto um agente escolhe uma ação.
- Discreto: Existe um número definido de ações e percepções do agente para o ambiente em cada turno.
- Contínuo: As percepções e ações de um agente modificam-se em um espectro contínuo de valores. Por exemplo, temperatura de um sensor muda de forma contínua.

A Tabela 2.3 mostra alguns exemplos de agentes, apresentando as suas características em termos de possibilidade de medida de performance, possíveis ambientes, atuadores e sensores. A primeira linha da Tabela 2.3 apresenta um exemplo de agente atuando em

Tabela 2.3: Listagem de SMA com propriedades de medida de performance, ambiente, atuadores e sensores

Tipo de agente	Medida de performance	Ambiente	Atuadores	Sensores
Sensores de estacionamento	Avarias no veículo	Carro e garagens	Freio do carro, controle de velocidade	Sensor de proximidade
Jogos com oponente computador	Quantidade de vitórias	Software	Realizar jogada	Percepção do tabuleiro
Agentes hospitalares	Saúde do paciente	Paciente, ambiente médico	Diagnósticos	Entrada de sintomas do paciente

um veículo como um sensor de estacionamento. Responsável por auxiliar o motorista no ato de estacionar o carro, o seu ambiente é da classe físico (considerando o carro e o ambiente onde está o carro). Seu sensor de proximidade é a percepção do ambiente e, caso detecte que está próximo de um obstáculo, pode atuar nos freios dos carros diminuindo a velocidade e evitando colisões. Avarias no carro podem indicar um mal funcionamento do sensor.

A segunda linha da Tabela 2.3 é apresentado o exemplo de agente atuando em um jogo avulso. Esse ambiente é dito dinâmico, pois a cada jogada de um oponente (real ou não), o agente deve analisar a jogada feita pelo seu oponente, irá calcular sua próxima jogada e a realizará. O objetivo principal do agente é a vitória. O ambiente que o agente atua é um software e o seu atuador é um algum mecanismo que permite que ele realize a jogada. O sensor é o mecanismo no qual o agente irá perceber a jogada realizada pelo oponente.

Por fim, a última linha da Tabela 2.3 expõe um exemplo de um agente médico atuando em um ambiente estático: Um paciente. Esse ambiente é classificado como estático por não ser alterado pelo agente nesse exemplo, porém é possível ser diferente em outras situações. O objetivo principal é monitorar a saúde do paciente, logo a medida de performance será a aproximação ou não do diagnóstico médico. Seu atuador não será diretamente no ambiente (corpo humano), será na forma de relatórios médicos e seus sensores podem variar de acordo com a doença a ser monitorada.

Segundo [37] é possível separar as principais noções dos agentes em dois grupos. O primeiro, chamado de noção fraca, compreende as características de reatividade, proatividade e habilidade social. O conceito de reatividade está ligado com a percepção do ambiente e a reação no mesmo. Proatividade é a característica do agente tomar a iniciativa e agir sem a necessidade de nenhum estímulo. Habilidade social é a capacidade de interação com outros agentes. Já a noção forte de agente envolve os seguintes aspectos:

- Mobilidade: Possibilidade de movimentação pelo ambiente, por exemplo, transferência em uma rede.
- Veracidade: O agente não transmite informações falsas.
- Benevolência: Capacidade de ajudar os outros agentes.

- Racionalidade: A ação do agente não impedirá a realização dos seus objetivos.
- Cooperação: Cooperação com o usuário.

2.2.2 Arquiteturas de agentes

A arquitetura de agentes varia de acordo com a complexidade da sua autonomia, ou seja, com a capacidade de reagir aos estímulos do ambiente. Conforme verificado em [31], os tipos de arquitetura são: orientadas à tabela, reflexiva simples, reflexiva baseado em modelo, baseada em objetivo, baseada em utilidade.

A primeira arquitetura a ser explorada é o agente orientado à tabelas. Todas as ações dos agentes são conhecidas e estão gravadas em uma tabela. Assim, quando o agente receber o estímulo ele já terá a ação a ser tomada previamente gravada em sua memória. Logo para construir esse tipo de agente, fica claro que além de saber todas percepções possíveis, será necessário definir ações apropriadas para todas. Isso levará a tabelas muito complexas e o tamanho pode facilmente passar a ordem de milhões dependendo do número de entradas.

A arquitetura reflexiva simples é um dos tipos mais simples de agente. Nele, o agente seleciona a ação com base unicamente na percepção atual, desconsiderando assim uma grande tabela de decisões. A decisão é tomada com base de regras condição-ação: Se uma condição ocorrer, uma ação será tomada. Por exemplo, vamos supor um agente médico que determina o diagnóstico de uma doença no paciente caso exista alguma anomalia no organismo (Por exemplo, paciente com febre). Uma condição-ação poderia ser:

if anomalia-organismo then diagnóstico-médico

Esse tipo de agente é bastante simples, o que é uma vantagem comparado à arquitetura de tabela. Porém, essa abordagem requer um ambiente totalmente observável, visto que esse tipo de agente possui uma inteligência bastante limitada. No exemplo do agente médico existem diversas maneiras de se detectar uma anomalia no organismo do paciente, seria necessário conhecer todas as formas para usarmos uma abordagem reativa simples.

A arquitetura baseada em modelos funciona de maneira similar a anterior. Nessa abordagem, é levado em conta a parte do ambiente que não é visível neste momento. E para saber o “momento atual” de um agente, é necessário guardar a informação de estado consigo. Para atualizar o estado do agente, é necessário conhecer como o mundo desenvolve-se independente do agente (no caso do exemplo, como o organismo funciona) e é necessário saber as ações dos agentes no ambiente. Esses conhecimentos acerca do ambiente são definidos como modelo de mundo. Do ponto de vista do agente, essa abordagem é considerada como baseada em modelo.

Na arquitetura baseada em objetivo, as ações do agente são executadas apenas se o aproximam de alcançar um objetivo. Para isso, será necessário algo além do estado atual do ambiente: Será necessário informações do objetivo a ser atingido. Assim o agente pode combinar as informações do estado e o objetivo para determinar se deve ou não agir sobre o ambiente. Este modelo permite uma maior flexibilização das ações em determinados ambientes, visto que suas decisões são representadas de forma explícita e podem ser modificadas, com a consequência de aumento da complexidade desta abordagem. É interessante notar que esse tipo de arquitetura não trata ações com objetivos conflitantes.

Por fim, a arquitetura baseada em utilidade não utiliza apenas objetivos para realizar a próxima decisão, mas dá ao agente a capacidade de fazer comparações sobre o estado do

ambiente e as ações a serem tomadas: Quais delas são mais baratas, confiáveis, resilientes e rápidas do que as outras. A capacidade de avaliação do agente é chamada de função de utilidade, que mapeia uma sequência de estados em um número real que determina o grau de utilidade. Esse mecanismo possibilita a decisão racional de escolha entre vários objetivos conflitantes. Por exemplo, escolher entre um objetivo mais barato ao invés de escolher entre o mais rápido.

2.2.3 Definição de Sistemas Multiagente

Os SMA são sistemas compostos por vários agentes capazes de se comunicar, possuindo uma linguagem de alto nível para isso. Um agente possui um objeto que, normalmente, é distinto dos objetivos de outros agentes e pode ou não cooperar com outros agentes para a realização de uma tarefa.

Em [34], podemos encontrar as seguintes características principais em ambientes multiagente:

- Fornecem protocolos específicos para comunicação e interação. Cada ambiente tem as suas particularidades: Alguns são em uma única máquina, outros são compartilhados com o mundo real e outros são distribuídos. Cabe a cada ambiente definir um protocolo onde todos agentes devem obedecer para comunicar-se.
- São tipicamente abertos.
- Contém agentes que são autônomos e individualistas.

É trivial imaginar que um SMA é designado para a solução de problemas de forma distribuída, onde o problema é distribuído entre os agentes que, juntos, trabalham concorrentemente para a resolução deste problema, podendo ou não trabalhar de forma cooperativa.

É importante notar a distinção de conceitos como cooperação na literatura de SMA. Em [37], existem duas principais diferenças do conceito entre as duas abordagens.

A primeira diferença é a designação distinta dos objetivos dos agentes. Em um ambiente com vários agentes, eles devem trabalhar estrategicamente para alcançar seus objetos. A possibilidade de agentes não cooperarem é perfeitamente plausível. A segunda diferença está na ação de forma autônoma, ou seja, tomar suas próprias decisões em tempo de execução sem interferências humanas ou de outros agentes. Logo, um ecossistema de agentes deve ser capaz de coordenar dinamicamente suas ações, cooperando com outros agentes para atingir os objetivos. Em aplicações distribuídas, esses comportamentos já são desenhados durante o planejamento do software.

A forma de agentes resolverem problemas foi baseada na técnica distribuição cooperativa de resolução de problemas - *cooperative distributed problem solving* (CDPS). Em [18], a técnica CDPS consiste de uma rede de baixo acoplamento provida de sofisticados nós resolvidores de problemas que precisam cooperar entre si, pois nenhum deles possui recursos, informações e *expertise* suficientes para resolver algum problema sozinho. Cada nó possui uma *expertise* diferente que pode resolver parte do problema.

Inicialmente essa técnica assumiu que os problemas fossem de ordem benevolente. Isso significa que, implicitamente, os agentes compartilham o mesmo objetivo de resolver o problema proposto. Isso implica que todos os agentes ajudarão sempre que possível,

mesmo tendo prejuízos na execução da ação, pois o objetivo geral de todos será a resolução do problema maior. Esse cenário é plausível desde que uma organização ou entidade tenha o controle de (ou modele) todos os agentes.

Em um cenário mais realista (e de maior enfoque dos estudos de SMA), agentes podem pertencer à sociedades com interesses próprios, diferentes de outras sociedades. Logo, é possível ocorrer o conflito de interesses neste ambiente, situação que força os agentes a cooperarem com os outros para alcançarem seus objetivos.

O processo CDPS pode ser dividido em três etapas:

- decomposição do problema - o problema é quebrado em instâncias menores e dividido entre os agentes. Esses subproblemas podem ser quebrados em diversas subpartes, permitindo uma maior decomposição e consequentemente um maior número de agentes trabalhando na resolução.
- solução do subproblema - os subproblemas são resolvidos pelos agentes. Isso pode significar troca de informações entre os agentes, por exemplo, dos que resolveram as suas instâncias compartilhando informações com outros agentes.
- integração da solução - as soluções dos subproblemas são integradas em uma resolução completa do problema original.

Com uma solução compartilhada de resolução de problemas, a arquitetura SMA mostra-se bastante robusta neste quesito. É necessário porém saber dos detalhes da comunicação entre os agentes, a forma de envio das mensagens, as suas linguagens, bem como outras particularidades.

2.2.4 Comunicação

A comunicação é um dos aspectos mais importantes no desenvolvimento de SMAs. Problemas de sincronização entre as partes que se comunicam devem ser devidamente estudados. A situação mais simples possível da comunicação, onde o agente A envia uma mensagem ao agente B que está prontamente disponível para receber a mensagem nem sempre é a o cenário mais recorrente. Para tanto, é necessário entender os pormenores da comunicação nesta abordagem.

Em uma aplicação normal (Desktop ou Web), a comunicação entre objetos pode ser mais simplificada. Por exemplo, supondo uma aplicação em que existe dois objetos, a e b e que o objeto a tenha um método público chamado $m1$. O objeto b pode ser comunicar com o objeto a por meio do método $m1$, provavelmente da seguinte forma $a.m1(args)$, onde $args$ são os argumentos enviados ao objeto a e a sintaxe pode ser diferente da apresentada, dependendo da linguagem de programação. É importante notar que o controle da execução do método $m1$ não está no objeto a , mas sim no objeto b , que decide o momento o qual o método será invocado.

Esse cenário de comunicação é diferente em um ambiente SMA. Supondo dois agentes a e b , onde o agente a tem a capacidade de executar a ação α . O agente b não poderá invocar diretamente o método que corresponde à ação α , visto que os agentes são autônomos e independentes: Cada um tem somente total controle sobre suas ações e seus estados. O agente precisará enviar a solicitação da execução da ação α por meio de mensagem. Isso porém não garante que o agente a executará esta ação, pois pode não ser do seu interesse.

Os agentes podem também influenciar o comportamento de outros agentes, alterando seu estado interno para a execução de ações e cooperando para o cumprimento do objetivo de outros agentes.

A comunicação dos agentes é baseada na teoria dos atos de fala (*Speech act theory*) e trata a comunicação como uma ação. A teoria dos atos de fala, publicada em 1962 [11] por John Austin, onde ele percebe que certas expressões de linguagem natural, ou atos de fala, possuem a característica de realizar ação em um interlocutor, causando assim uma mudança de estado da mesma forma que uma ação física. Logo, as expressões descrevem as ações por meio de desejos, habilidades e crenças.

Em [36], a teoria dos atos de fala possuem duas características:

- A distinção entre um o significado expressado por uma expressão e a forma como essa expressão é utilizada.
- Expressões de todos os tipos podem ser considerados como atos, pois mudam o mundo de alguma forma.

Posteriormente o trabalho de John Searle [33], relacionado ao de Austin, separa uma ação de um ato entre orador(*speaker*) e ouvinte(*hearer*) identificando propriedades e condições que um discurso deve conter para realizar ações sucedidas. Além disso, ele classifica alguns atos de discursos em 5 classes:

- Representativas - Representa o ato de um orador representar uma verdade para o ouvinte. Pode ser entendido como uma ação de informar(*inform*).
- Diretivas - Tentativa do orador de fazer algum ouvinte realizar alguma ação por meio do seu ato.. Pode ser entendido como uma ação de requisição(*request*).
- Comissivas - O orador toma alguma atitude em relação à uma ação em andamento.
- Expressivas - Expressa algum estado psicológico.
- Declarações - Causa algum efeito relacionado a determinado assunto.

A comunicação então baseia-se nos atos de fala para prever a interação com seres humanos e é definida por meio de semânticas definidas pela teoria da Inteligência Artificial [37]. O formalismo para a comunicação foi escolhido de forma que foi possível representar os atos de discursos em uma lógica multimodal, que contém os operadores de desejos, habilidades e crenças dos atos de discurso.

Da mesma forma que a teoria dos atos de fala influenciou na arquitetura da comunicação, ela influenciou também nas várias linguagens de comunicação dos agentes. Linguagens foram desenvolvidas para, não apenas representar ações de agentes, mas também para representar o conhecimento entre sistemas autônomos. No início dos anos 90, duas linguagens foram desenvolvidas pelo consórcio *Knowledge Sharing Effort*, encabeçados pela agência norte americana *Defense Advanced Research Projects Agency*(DARPA) [7].

- *Knowledge Query and Manipulation Language* (KQML) - Protocolo designado para a comunicação de agentes, em uma arquitetura que esses agentes sejam projetados para resolver problemas da arquitetura cliente-servidor [29]. Não existe o foco com o conteúdo da mensagem.

Tabela 2.4: Listagem de atributos de uma mensagem em KQML

Parâmetro	Significado
<i>sender</i>	Remetente da mensagem.
<i>receiver</i>	Destinatário da mensagem.
<i>reply-with</i>	Identifica se o remetente espera uma resposta. Em caso positivo, o campo <i>in-reply-to</i> deve ser preenchido com a referência para a resposta.
<i>in-reply-to</i>	Campo contendo a referência para a resposta solicitada.
<i>language</i>	Linguagem em que o campo <i>content</i> está escrito.
<i>ontology</i>	Indica a forma que deve ser interpretada o conteúdo do campo <i>content</i> .
<i>content</i>	Conteúdo da mensagem.

- *Knowledge Interchange Format* (KIF) - Criada para facilitar a troca de conhecimento entre agentes, suas declarações são providas de significados que podem ser compreensíveis a qualquer agente que conheça a estrutura da linguagem. Não possui foco na transmissão da mensagem [21].

KQML

A linguagem KQML define um protocolo para comunicação de agentes, onde cada mensagem tem um enunciado performativo (*performative*), que varia com o seu objetivo, e em seguida os parâmetros da mensagem. O KQML define vários enunciados performativos que distinguem-se pelo objetivo da mensagem, sendo divididas em três categorias: Discursivas, intervenção/mecânica e facilitação e *networking*. Por exemplo, uma mensagem com o tipo performativo *ask-one* indica que o agente remetente A deseja saber uma resposta do agente B sobre o conteúdo da mensagem. Em [29], é possível verificar que a última versão da linguagem define mais de trinta enunciados performativos.

Os maioria dos parâmetros são opcionais, sendo os mais importantes: *content* e *receiver*. A Tabela 2.4 lista os principais parâmetros em uma mensagem nesta linguagem, bem como seu significado.

O formato da mensagem é completamente compreensível aos humanos. Na mensagem 2.1 podemos verificar na primeira linha o enunciado performativo *ask-one*, onde será uma mensagem de consulta. Nas linhas abaixo, visualizamos todos os parâmetros da mensagem antecidos por (:). O primeiro parâmetro da mensagem é *receiver* como controle-estoque, ou seja, esse será o destinatário da mensagem. O segundo parâmetro *language* tem o valor PROLOG indicando que a sintaxe do conteúdo está escrita em PROLOG. O próximo parâmetro, *ontology* informa a ontologia que espessa o conteúdo. Por fim, o parâmetro *content* que indica o conteúdo da mensagem, no caso, uma consulta escrita em PROLOG perguntando pelo preço de um computador.

Exemplo de Código 2.1: Exemplo de mensagem em KQML

```
(ask-one
  :receiver controle-estoque
  :language PROLOG
  :ontology PRODUTOS
```

```
)
    :content (PRECO COMPUTADOR ?price)
)
```

Um exemplo de diálogo escrito em KQML pode ser visto na sequência de mensagens [2.2](#)

Exemplo de Código 2.2: Exemplo de diálogo em KQML

```
(evaluate
  :sender A
  :receiver B
  :language PROLOG
  :ontology PRODUTOS
  :reply-with q1
  :content (PRECO COMPUTADOR ?price)
)
(reply
  :sender B
  :receiver A
  :language PROLOG
  :ontology PRODUTOS
  :in-reply-to q1
  :content (=2000.00)
)
```

A primeira mensagem do diálogo possui o enunciado performativo é *evaluate*, significando que o emissor A deseja avaliar o conteúdo com B. Nos parâmetros é possível notar que a linguagem da mensagem é PROLOG, utiliza a ontologia PRODUTOS e o conteúdo é uma consulta em prolog. O parâmetro *reply-with* cria uma referência para a consulta do conteúdo.

Na segunda mensagem, o seu enunciado performativo é *reply*, significando uma mensagem do tipo resposta. O parâmetro *in-reply-to q1* especifica essa mensagem como resposta à q1, ou seja, à consulta da mensagem anterior. Dessa forma a linguagem consegue distinguir respostas de um mesmo remetente. Os outros parâmetros são o emissor B, destinatário A, linguagem PROLOG e o conteúdo da mensagem, o valor da consulta q1.

Em [37], a adoção desta linguagem pela comunidade de SMA foi significativa, mas sofreu diversas críticas:

- A fluidez e a não restrição do KQML fez com que diversas implementações estendidas surgissem, impossibilitando a interoperabilidade entre sistemas.
- Mecanismos de transporte do KQML nunca foram bem definidos, causando problemas de diversas implementações destes mecanismos e prejudicando novamente a interoperabilidade.
- A semântica do KQML nunca foi formalmente definida, ocasionando em má interpretações dos enunciados performativos.
- A linguagem não possui enunciados performativos adequados para algumas semânticas. Por exemplo, a inexistência do enunciado *comissives*.

Dessa forma, novos desenvolvimentos de linguagens fizeram-se necessários.

KIF

A linguagem foi desenvolvida para expressar conhecimento a cerca de um determinado domínio, sendo possível assim a troca de conhecimentos entre agentes. Em [21], a linguagem possui as seguintes características:

- Tem uma semântica declarativa, sendo possível entender o seu significado sem a necessidade de um interpretador para manipulação das expressões.
- É logicamente compreensível.
- É provida com a capacidade de reproduzir meta-conhecimento, ou seja, conhecimento a respeito da representação do conhecimento. Com isso, é possível reproduzir novas representações de conhecimento sem a necessidade de modificar a linguagem.

A linguagem é baseada na lógica de primeira ordem onde são definidos operadores como existe(\exists) e para todo(\forall), possibilitando aos agentes a expressão de diversas propriedades, domínios, dentre outros. Além disso, ela define um vocabulário básico para a expressão de tipos básicos (números, caracteres, strings) e algumas funções padrões para lidar com esses tipos de dados (menor que, maior que, soma, dentre outros).

O trecho de código 2.3 ilustra um exemplo de expressão na linguagem KIF, validando que a temperatura de m1 é 83 graus Célsius.

Exemplo de Código 2.3: Exemplo de expressão de conteúdo com a linguagem KIF.
Fonte: [37]

```
(= (temperature m1 ) ( scalar 83 Celsius ))
```

2.2.5 Linguagem de Comunicação de Agentes FIPA

Após as críticas à linguagem KQML, o consórcio *Foundation for Intelligent Physical Agents* (FIPA) começou a trabalhar em 1995 no desenvolvimento da padronização de SMAs. O núcleo dessa padronização foi o desenvolvimento de uma linguagem de comunicação de agentes (ACL) padronizada para todas as plataformas.

Baseado na linguagem KQML, a estrutura das mensagens é a mesma e os seus atributos são semelhantes. A maior diferença entre as duas linguagens são os enunciados performativos. Foram definidos 20 tipos de mensagens performativas, muito semelhante ao KQML, porém definindo formalmente as interpretações dessas mensagens e não definindo nenhuma linguagem para o conteúdo da mensagem.

Devido ao fato da linguagem KQML não ter performativos adequados, a ACL da FIPA recebeu total preocupação na definição formal da semântica da linguagem. A tabela 2.5 contém um breve resumo dos enunciados performativos disponíveis em [4]. É importante notar que a especificação [4] possui toda a descrição formal de cada enunciado performativo aqui descrito.

As performativas *request* e *inform* consideradas principais pela especificação da FIPA, pois orientam toda a linguagem de comunicação. Além disso, é possível derivar as outras performativas por meio delas.

Tabela 2.5: Listagem de Enunciados Performativos

Tipo	Descrição
<i>Accept Proposal</i>	Declaração de aceite de proposta feita por um agente.
<i>Agree</i>	Performativa feita por um agente indicando que aceitou o <i>request</i> feito por outro agente.
<i>Cancel</i>	Cancela uma mensagem de <i>request</i> , informando que não irá mais participar daquela conversação.
<i>Call for Proposal</i>	Performativo que indica o início de uma negociação entre agentes.
<i>Confirm</i>	A confirmação permite ao emissor da mensagem confirmar a veracidade do conteúdo da mensagem.
<i>Disconfirm</i>	Similar à confirmação, porém informando ao emissor da não certeza do conteúdo da mensagem.
<i>Failure</i>	Permite ao agente indicar que a tentativa de executar uma ação falhou.
<i>Inform</i>	Informa à um destinatário que o conteúdo da mensagem é verdadeiro, implicando que o remetente da mensagem também acredita no seu conteúdo. É uma das mais importantes performativas feitas pela FIPA.
<i>Inform If</i>	Envia uma mensagem a qual o seu conteúdo pode ser verdadeiro ou falso.
<i>Inform Ref</i>	Similar ao <i>Inform If</i> , com a diferença que ao invés de questionar se é verdadeiro ou falso, ele solicita o valor de uma expressão para o remetente.
<i>Not Understood</i>	Informa à um agente que não entendeu por que determinada ação deve ser realizada. Usada quando o estado interno do agente não é compatível com a mensagem.
<i>Propagate</i>	Consiste em propagar o conteúdo da mensagem para um grupo de agentes.
<i>Propose</i>	Permite um agente realizar uma proposta em uma negociação para outro agente.
<i>Proxy</i>	Permite ao destinatário da mensagem agir como um <i>proxy</i> para os agentes que estão descritos no conteúdo da mensagem.
<i>Query If</i>	Permite à um agente consultar um destinatário sobre a validade do conteúdo.
<i>Query Ref</i>	Similar ao <i>query-if</i> , porém o agente remetente irá consultar o valor de uma expressão
<i>Refuse</i>	Indica que um determinado agente não irá executar uma ação que foi determinada por outro agente.
<i>Reject Proposal</i>	Permite um agente rejeitar uma proposta feita por outro agente em uma negociação.
<i>Request</i>	Permite à um agente requisitar que outro agente execute determinada ação.
<i>Request When</i>	Permite à um agente requisitar que outro agente execute determinada ação quando a proposição (no conteúdo da mensagem) for verdadeira.
<i>Request Whenever</i>	Similar ao <i>request-when</i> , porém o agente nunca irá executar a ação quando a proposição (no conteúdo da mensagem) for verdadeira.
<i>Subscribe</i>	O conteúdo será uma proposição e o remetente da mensagem será notificado sempre que essa proposição for verdadeira.



Figura 2.2: Ontologias superiores do mundo, cada uma indicando um conceito ou especialização do seu superior.

2.2.6 Ontologias

Ontologia é um um ramo da Filosofia que dedica-se a estudar e representar a natureza do ser, existência ou realidade. De acordo com [25] é um modelo que consiste na representação de um vocabulário com definições precisas dos termos, axiomas formais que restringem uma interpretação e expressões bem formadas de uso dos termos. Segundo [31], a representação de conceitos e objetos pode ser entendida como Engenharia Ontológica:

...concentrating on general concepts-such as Actions, Time, Physical Objects, and Beliefs - that occur in many different domains. Representing these abstract concepts is sometimes called ontological engineering.

A possibilidade de representação de conhecimento por meio de ontologias é bastante vasta. A sua forma de especificação pode ser entendida como uma hierarquia, onde os conhecimentos são organizados na forma de árvore, possibilitando a inserção de novos conhecimento a qualquer momento.

A Figura 2.2 representa a organização geral de conceitos, chamado de ontologias superiores. As ontologias gerais estão representadas no topo da árvore, e as suas especialidades vão crescendo no sentido das folhas.

Em um ambiente SMA além de especificar uma linguagem para comunicação, dois agentes podem comunicar-se com relação à um determinado domínio de aplicação: Podem negociar valores de carteiras em uma organização financeira, podem trocar mensagens sobre os dados analisados de performance de veículos, dentre outros exemplos. Em outras palavras, dois agentes podem comunicar-se usando a mesma ontologia.

Existem muitas linguagens que foram desenvolvidas para expressar ontologias. A mais comum delas é a *eXtensible Markup Language* (XML), uma linguagem de marcação que organiza os dados de forma hierarquizada.

O Exemplo de Código 2.4 está descrito escrito na linguagem XML e representa o domínio de países. Nele podemos ver a ontologia superior, País. Cada país é composto por um conjunto de estados, contendo as propriedades nome e sigla. Cada estado possui um conjunto de cidades. Cada cidade possui os atributos nome e população. Esses

atributos poderiam ser escritos de forma diferente no trecho 2.4, porém sem alteração de semântica.

Exemplo de Código 2.4: Representação uma ontologia simples de cidades.

```
<Pais nome="Brasil">
  <Estado nome="Goias" sigla="GO">
    <Cidade>
      <Nome>Goiania</Nome>
      <Populacao>1.300.000</Populacao>
    </Cidade>
    <Cidade>
      <Nome>Anapolis</Nome>
      <Populacao>342.347</Populacao>
    </Cidade>
    <Cidade>
      <Nome>Aparecida de Goiania</Nome>
      <Populacao>474.219</Populacao>
    </Cidade>
  </Estado>
  <Estado nome="Sao_Paulo" sigla="SP" >
    <Cidade>
      ...
    </Cidade>
    ...
  </Estado>
  ...
</Pais>
```

2.3 Metodologias de Sistemas Multiagente

Atualmente muitas abordagens de projeto de desenvolvimento de software conseguem com sucesso definir uma metodologia para construção, implantação e manutenção do software. A definição dessas engenharias de software possuem diversos casos de sucesso em sua maioria nas áreas de Análise de Projetos Orientados à Objetos.

Pela característica autônoma dos agentes, não é possível compará-los à simples objetos que serão invocados por outros objetos. Não existe interação direta, apenas coordenação de ações via conversação para cada agente atingir suas próprias metas. Portanto, o advento da abordagem SMA trouxe à tona a necessidade de outras metodologias de desenvolvimento diferente daquelas, devido à diferença de abordagem do software.

Foram definidas algumas metodologias para modelagem e desenvolvimento de SMA. A metodologia *Gaia* [38] consiste em uma abordagem não iterativa que define análise e *design* de sistemas baseados em agentes. Esta metodologia é considerada genérica e compreensível pois pode ser aplicada a um nível muito amplo de SMA e ela lida tanto com escopos mais gerais (sociedade), quanto com escopos mais específicos (agentes). Ela define as regras e tarefas em termos de uma organização, que é sinônimo de sociedade de agentes ou um SMA.

A metodologia *PASSI* (*Process for Agent Societies Specification and Implementation*) é designada para o acompanhamento do desenvolvimento do sistema desde o levantamento dos requisitos até a codificação [15]. Seus modelos de projetos são baseados nas especificações da FIPA, garantindo assim a compatibilidade com o SMA a ser desenvolvido. O *PASSI* define uma metodologia cinco modelos de trabalho: Requisito do Sistema, sociedade de Agentes, implementação dos agentes, modelo de código e modelo de implantação.

A metodologia *Multiagent Systems Engineering* (MASE) é definida por meio dos requisitos e metas iniciais do SMA. Estes são levantados de forma iterativa e a partir de então são modeladas em diversas etapas as tarefas para cumprir os objetivos. O MASE utiliza-se de alguns modelos gráficos para a descrição dos agentes, seus objetivos, suas interações e a sua arquitetura. Em [32], a metodologia do MASE é baseada nas mais tradicionais metodologias de desenvolvimento de software, dividida em duas fases principais: Análise e Design.

Neste trabalho, foi escolhido a metodologia de desenvolvimento MASE. Em contraste com as outras abordagens, a metodologia *GAIA* não permite a adição de novos requisitos no momento de *design*. Supondo uma situação de estuda-se detalhadamente o *design* do sistema, ocasionalmente podem surgir alguns requisitos ou tarefas adicionais derivados desta análise. Por não permitir a adição destes requisitos, o *GAIA* mostra-se uma abordagem mais rígida e pode ser desvantajosa se comparado com outras, portanto, foi descartada.

A necessidade do acompanhamento até o código do desenvolvimento dos agentes feito pela metodologia *PASSI* poderia exigir um conhecimento mais aprofundado do framework de desenvolvimento do SMA, necessitando assim da escolha e estudo prévio deste *framework*. Este trabalho optou então pelo não acoplamento entre o projeto de modelagem e o código e, portanto, determinou o *MASE* para o desenvolvimento deste trabalho.

Justificada a escolha da metodologia, a primeira fase do MASE, chamada de análise, consiste no levantamento e entendimento dos requisitos com o objetivo de um conjunto de regras, as quais são associadas à tarefas que devem ser realizadas para o sistema atingir seus objetivos. No fim dessa fase, alguns artefatos são gerados que nortearão a próxima etapa da metodologia. A fase de análise pode ser dividida nos seguintes três passos:

- Capturar Metas;
- Desenvolver Casos de Uso;
- Refinar Regras.

A fase de design consiste na modelagem do SMA de acordo com as regras levantadas na fase anterior. O objetivo é a definição das conversações que existirão entre os agentes, bem como a arquitetura geral do sistema. Essa fase pode ser dividida em quatro passos:

- Criar as Classes dos Agentes;
- Construir Conversações;
- Montagem dos Agentes;
- Design do Sistema.

2.3.1 Análise

Em [32], a fase de análise objetiva o desenvolvimento de um conjunto de regras, que descrevem uma funcionalidade para uma entidade, as quais as atividades descrevem o que deve ser feito para o sistema atingir o seus objetivos.

Captura de Metas

O primeiro passo dessa fase, Captura de Metas, consiste na transformação da especificação inicial do sistema em um conjunto estruturado de metas. Entende-se que as *metas* que o sistema leva em consideração são relacionadas ao sistema (e não ao usuário), visto que são mais estáveis e as metas do sistema devem satisfazer, de forma geral, os objetivos do usuário [32].

Dividida em dois subpassos, o primeiro deles é a identificação de todas as metas. A partir da documentação inicial do sistema, contendo os requisitos funcionais, são extraídos os objetivos de cada cenários do sistema. É importante ressaltar que as metas devem descrever de forma geral e sucinta o comportamento do sistema, descrevendo o que ele deve fazer e não como deve ser feito.

As metas podem ser divididas em 4 tipos, podendo ser classificadas em mais de um: Sumário, particionada, combinada e não funcional. A meta sumário é derivada de outras metas semelhantes para que se generalize em uma meta pai. Meta particionada é a meta que, quando todas suas submetas são atingidas, a meta passa a ser atingida. Metas combinadas são metas que são agrupadas devido à semelhança de seus objetivos. As metas não funcionais são relativas à cumprir objetivos que são requisitos não funcionais do sistema.

O segundo subpasso consiste na estruturação de metas em forma hierarquizada. É necessário separar quais metas são mais abstratas e de que forma elas podem ser agrupadas em forma de hierarquia. Com isso, eliminam-se algumas metas que são repetidas e identificam-se quais metas são atingidas por meio de outras submetas.

Desenvolver Casos de Uso

Neste passo o objetivo é entender o comportamento e o fluxo de execução do sistema por meio dos casos de uso, além de haver um entendimento maior sobre como o sistema irá se comunicar. Para tanto, este passo visa o levantamento e criação dos casos de uso do sistema, bem como o diagrama de sequência para detalhar a ordem dos eventos de cada cenário.

Os casos de uso geralmente são levantados a partir dos requisitos iniciais do sistema. Nele, são identificados os participantes (atores) e a sua interação com o sistema, esclarecendo a comunicação de alguns módulos do sistema.

O diagrama de sequência define os eventos que cada interação pode criar, mostrando a ordem de execução destes eventos e a sua comunicação. Esses diagramas são criados para cada caso de uso, podendo haver mais de um para cada caso de uso. O objetivo principal é o levantamento dos eventos e das regras.

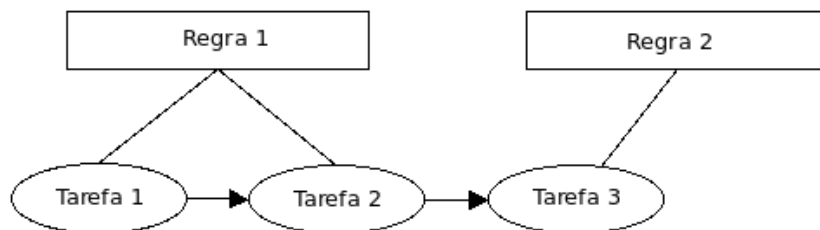


Figura 2.3: Representação utilizada no MASE Role Model.

Refinar Regras

O último passo da fase de análise, o refinamento de regras consiste na associação metas e seus diagramas de sequências às regras e suas respectivas tarefas. A associação de tarefas às regras é a melhor forma de modelagem de SMA [32].

Em geral, a associação de metas às regras é de um para um, não sendo uma regra necessariamente. Durante esta etapa, algumas considerações relativas ao desenho do sistema devem ser levadas em consideração. Caso exista alguma alteração (adição de uma nova meta, alteração de caso de uso, dentre outras), a metodologia permite que o analista retorne aos passos anteriores e remodele a solução. Algumas metas podem ser combinadas em apenas uma regra, simplificando o desenho do sistema.

A interface com sistemas externos geralmente é tratada como uma regra diferente, visto que sua complexidade pode variar. O MASE não modela explicitamente um ator humano, pois o considera como um ator externo ao sistema.

Após a associação das regras, elas são estruturas em uma modelagem chamada *MASE Role Model*, contendo informações de interações entre as tarefas. A representação a notação do *MASE Role Model* 2.3 utilizada por [32] utiliza-se de retângulos para expressar as regras, elipses para identificar as tarefas e as setas entre as tarefas representam as suas comunicações. Essas comunicações podem ser por meio de mensagens, caso as regras estejam separadas em agentes diferentes.

Caso as regras compartilhem tarefas será necessário remodelar a composição da regra, visto que o MASE não permite a duplicação de tarefas.

De forma geral, cada regra possui uma série de tarefas que podem (ou não) executar paralelamente. Cada tarefa possui um comportamento que pode depender de outras regras para o cumprimento de seu objetivo. Preocupando-se com as conversações entre tarefas, o MASE determina neste passo a criação do *Concurrent Task Diagram*.

O diagrama é representado por meio de autômatos de estados finitos 2.4, devido a facilidade de construção e entendimento. A transição consiste de uma mudança de estado do agente, podendo envolver um processamento ou uma comunicação externa.

A mudança de estado do automato é equivalente à mudança de estado do agente. A sintaxe da transição de pode ser expressa por meio de uma notação 2.5 que define o gatilho a ser disparado, condições para a execução e as mensagens transmitidas.

Exemplo de Código 2.5: Sintaxe da mudança de estado.

```
trigger [guard] ^ transmission(s)
```

O *token* trigger representa um evento que inicia a mudança de estado, geralmente vindo de outra tarefa da mesma regra. O *token* [guard] é a verificação da validade do

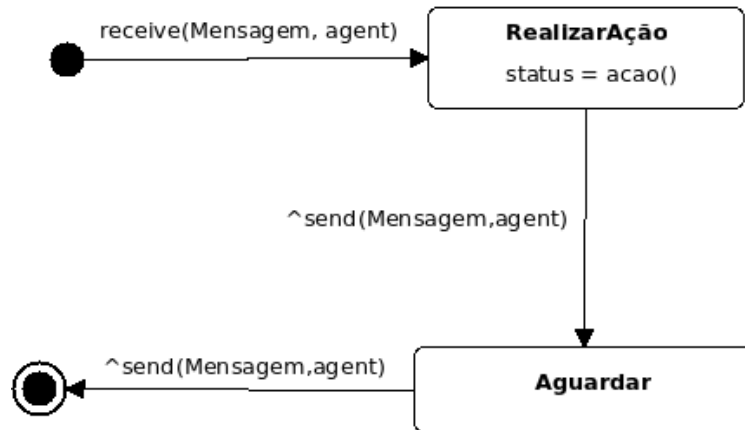


Figura 2.4: Representação utilizada no *Concurrent Task Diagram*.

código *guard*, ocorrendo a mudança de estado somente quando a condição for verdadeira. Por fim ocorrem as transmissões, que podem conter o parâmetro *s*.

Para comunicações externas, dois eventos especiais foram definidos: O evento *send* indicando o envio de mensagem e o evento *receive*, indicando o recebimento de mensagem.

A mensagem sempre possui um cabeçalho performativo (definida pela FIPA, representa o objetivo da mensagem) com a seguinte sintaxe: *performative(p1...pn)*, onde *p1...pn* indicam os parâmetros da mensagem.

Após a definição dos *Concurrent Tasks Diagrams*, o analista pode combinar tarefas, a fim de diminuir a complexidade do sistema.

Com isso, o sistema já possui a complexidade das regras determinadas, bem como as tarefas necessárias para atingir seus objetivos.

2.3.2 Design

A fase de design é dividida em quatro passos: Criar Classes dos Agentes, Construir Conversações, Montagem dos Agentes e Design do Sistema. O principal objetivo desta fase é projetar os agentes e suas interações de acordo com os insumos construídos na fase anterior.

Criando as Classes dos Agentes

Neste passo, os agentes são criados com base nas regras definidas na fase anterior. Para cada agente criado deve existir pelo menos uma regra associada, caso contrário o levantamento de regras mostra-se incompleto. Dessa forma, o MASE garante que todas os objetivos do sistema são atingidos, já que as regras do sistema estão relacionados com as metas que foram levantadas na etapa anterior.

Ao fim deste passo é necessário a criação de um novo diagrama, o *Agent Class Diagram* 2.5. Nele, as classes dos agentes são associadas com as regras levantadas e as comunicações entre as classes.

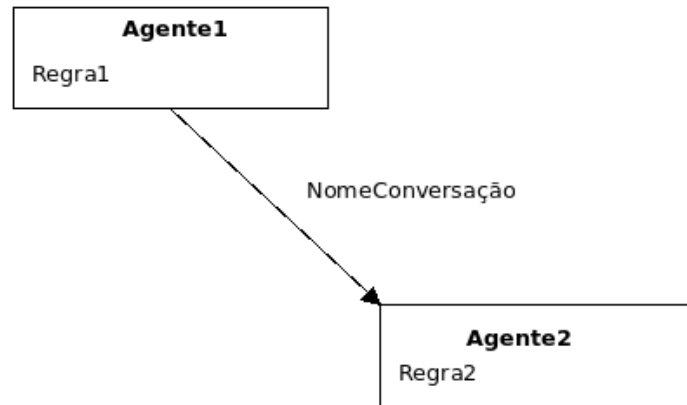


Figura 2.5: Representao utilizada no *Agent Class Diagram*.

Construir Conversaes

A próxima etapa da segunda fase diz respeito s conversaes que existiro no SMA. Aqui, cada detalhe da conversao entre dois agentes dever ser planejado para que haja a correta comunicao entre os agentes e a quantidade de erros seja minimizada.

Quando o agente recebe uma mensagem, ele automaticamente compara com as suas conversaes ativas [32]. Caso exista alguma conversao semelhante, o agente muda o seu estado e realiza as aes relativas para atingir esse estado. Caso contrrio,  assumido que o agente emissor deseja iniciar uma nova conversao e o receptor compara com as suas possibilidades de tipos de conversao disponveis para participar.

Neste passo,  criado o Diagrama de Comunicao. Nele, as conversaes so montadas por meio do mesmo autmato de estados finitos, utilizado na fase anlise, passo *refinar regras*. Os estados do autmato so as aes que devem ser realizadas pelo agente. As transies de estado so as conversaes que so feitas pelo agente.

O Exemplo de Código 2.6 representa a sintaxe usada na conversao de agentes  uma expresso que  definida por meio das mensagens recebidas, condies, aes e mensagens transmitidas. O *token rec-mess* indica que a mensagem com os parmetros *args1* foi recebida caso a condio *cond* seja verdadeira. Ento o método *action*  chamado e a mensagem *trans-mess* com os argumentos *args2*. Todos os elementos da mensagem so opcionais.

Exemplo de Código 2.6: Sintaxe da conversao entre dois agentes.

```
rec-mess(args1) [cond] / action ^ trans-mess(args2)
```

O diagrama de comunicao apresentado na Figura 2.6  definido para os dois lados da conversao: Iniciador e Receptor. considerando o lado iniciador da conversao.

Montagem dos Agentes

Neste passo, o estado interno dos agentes  criado.  necessrio nesta etapa definir a arquitetura dos agentes e os componentes que iro compor esta arquitetura. Para isso,  necessrio criar o Diagrama de Arquitetura de Agentes, onde so representados os componentes arquiteturais dos agentes.

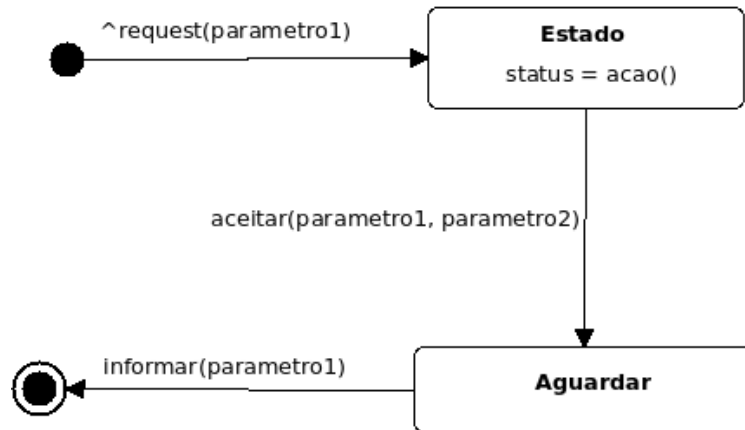


Figura 2.6: Exemplo de conversação utilizada no Diagrama de Comunicação do lado do iniciador da conversação.

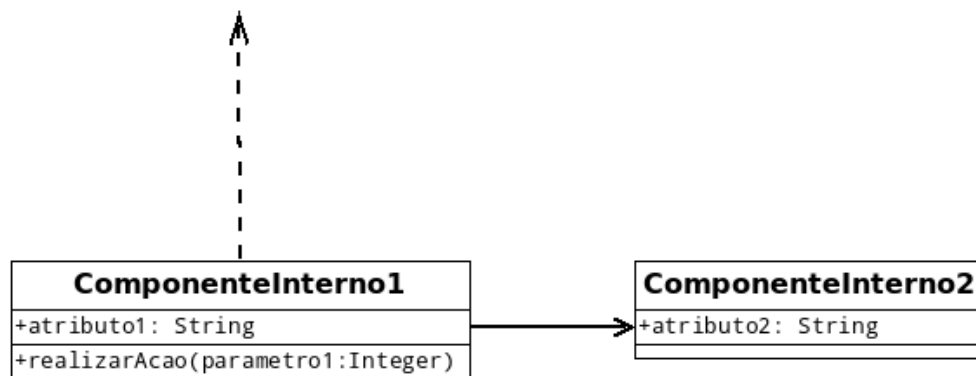


Figura 2.7: Notação utilizada na arquitetura de agentes.

Os componentes internos dos agentes podem ser atributos dos agentes, ou métodos auxiliares. Um agente pode ter vários componentes internos e estes componentes obviamente se comunicarão. No mínimo, cada agente criado no Diagrama de Agentes deve ser definir uma arquitetura interna.

No diagrama de arquitetura de agentes apresentado na Figura 2.7, a linha tracejada significa interação com sistemas externos, enquanto a outra significa interação com outros agentes do sistema.

As setas tracejadas indicam dependência com atributos externos ao agente, enquanto as outras setas representam dependência entre componentes.

Design do Sistema

A fase final da metodologia MASE consiste na criação de um diagrama de *deploy* dos agentes. Este diagrama consiste na representação do número de agentes que serão criados por cada máquina da aplicação, bem como suas localizações no sistema.

A Figura 2.8 apresenta o diagrama de *deploy*, expressando os ambientes criados e seus agentes internos. O retângulo com linhas pontilhadas representam os ambientes que

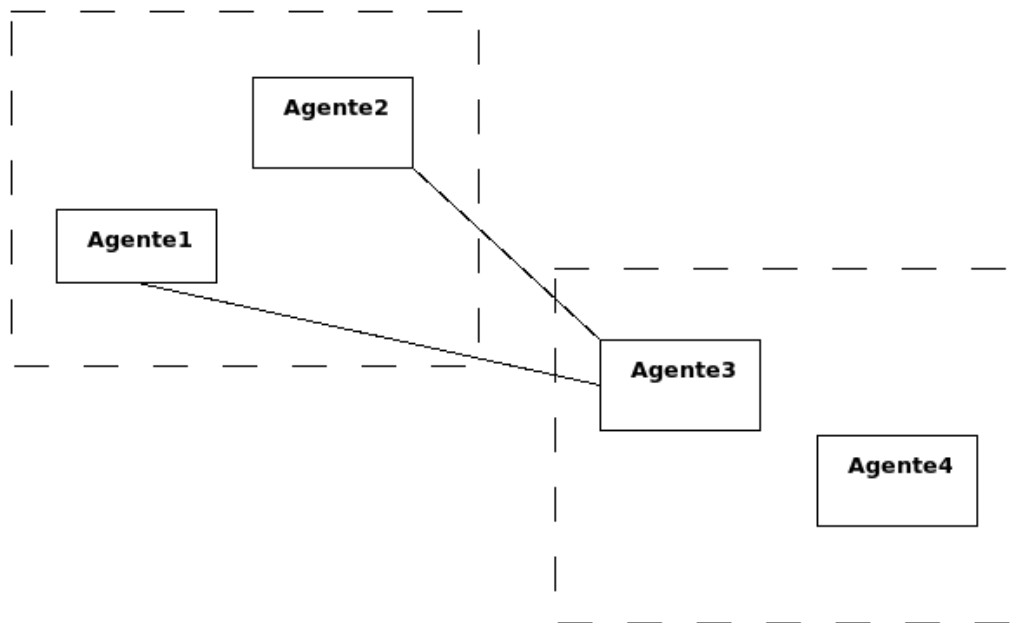


Figura 2.8: Notação utilizada no diagrama de deploy.

podem existir na aplicação. Os outros retângulos caixas representam os agentes e as linhas que os ligam representam as suas interações.

Ferramenta *AgentTool*

O *AgentTool* é uma ferramenta que dá suporte à metodologia MASE para a modelagem de um SMA. A versão 1.8.1 dá suporte à todas fases e passos do MASE [3], provendo suporte para a criação de diagramas, detalhamento de conversações e casos de uso simplificados.

A Figura 2.9 apresenta a tela principal onde é possível visualizar as principais abas disponíveis. Ela mostra a tela para desenvolvimento do diagrama de metas hierarquizado. O avanço ou regresso do desenvolvimento é percebido durante o preenchimento das abas, que é feito de forma sequencial da esquerda para a direita, acompanhando todos os passos da metodologia.

A medida do progresso da metodologia MASE, algumas abas serão habilitadas conforme a seleção dos objetos nos diagramas. Por exemplo, cada comunicação de tarefas no diagrama de regras deve possuir um detalhamento. Dessa forma, a aba *Task Panel* torna-se automaticamente visível ao usuário quando há esse tipo de interação.

2.4 Estudos de Ferramentas e Tecnologias Relacionadas

Nesta seção estão reunidos as tecnologias que auxiliares ao desenvolvimento do SMA. A primeira seção explica alguns diagramas que são definidos na *Unified Modeling Language*, necessários para entender os passos da *Multiagent System Engineering*.

Em seguida é explicado os conceitos relacionados ao *middleware* JADE, bem como a sua arquitetura, o funcionamento dos agentes e os agentes que possuem interface gráfica.

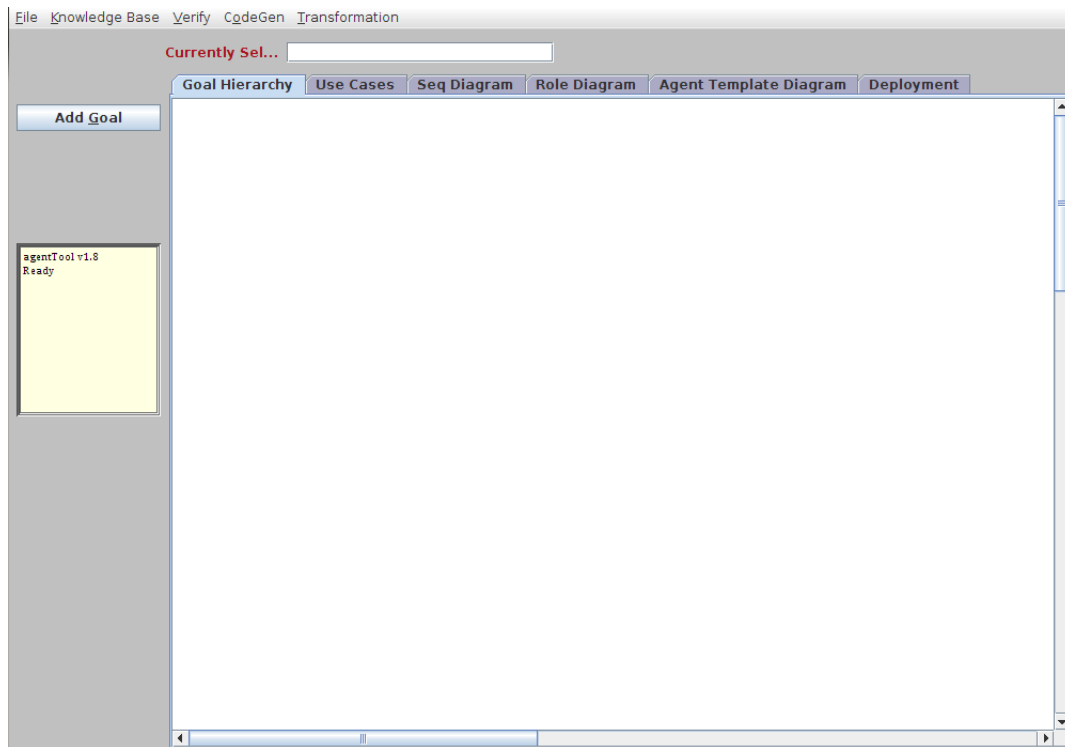


Figura 2.9: Interface da ferramenta *AgentTool*.

Por fim, esta seção disserta a respeito da ferramenta JBoss Seam, responsável por interligar os principais *frameworks* JAVA e facilitar o desenvolvimento de aplicações Web dinâmicas.

2.4.1 Unified Modeling Language

A Linguagem Unificada de Modelagem, *Unified Modeling Language* (UML) é uma linguagem visual que foi desenvolvida para a representação do software por meio de imagens, objetivando o entendimento dos artefatos de forma rápida e clara e resultando em uma semântica para o projeto em questão. Em [20] o UML faz parte de uma família de notações gráficas que ajudam na descrição e concepção de sistemas de software, principalmente em sistemas concebidos utilizando o paradigma da orientação à objetos (OO).

O UML é um padrão não proprietário, controlado pelo consórcio *Object Management Group* [8]. Seu nascimento é datado em 1997 [20], surgindo a partir da união de diversas linguagens e ferramentas de surgiram na década de 80 e 90. A linguagem ajuda o entendimento de como o software foi projetado, como ocorre a comunicação entre seus objetos, como suas classes são organizadas, quais são os atores que são envolvidos na utilização do software, dentre outras possibilidades de representação.

É possível separar o uso do UML de três formas distintas [20], diferindo entre as modelagens utilizadas e o objetivo de uso. As três formas são: Rascunho, planta de software e como linguagem de programação.

A utilização como rascunho é utilizada para facilitar a comunicação entre as pessoas envolvidas no projeto, sejam desenvolvedores discutindo funcionalidades do software ou gestores explicando funcionalidades em alto nível. O objetivo neste uso é a comunicação

de alguns aspectos do sistema de forma rápida, sem a necessidade de formalizar artefatos para o projeto.

A utilização do UML como planta de software são documentos detalhados que são criados para documentação do software, sendo dividida em duas sub-categorias: Engenharia reversa e engenharia normal. Na engenharia reversa, os diagramas são gerados a partir de uma ferramenta que faz a leitura do código fonte e gera os diagramas desejados, que são utilizados para auxiliar o leitor no entendimento do sistema. Na engenharia normal, a idéia é modelar o sistema detalhadamente antes de qualquer desenvolvimento, prevendo quais serão os módulos do sistema, bem como a sua comunicação.

No uso como linguagem de programação, o UML é utilizado para geração de código executável por ferramentas avançadas de modelagem. Esse modo requer a modelagem de estado e comportamento do sistema, para fins de detalhar todo o comportamento e lógica do sistema em código.

Diagramas UML

O UML 2.0 descreve 13 tipos de diagramas [2.10](#) que podem ser categorizados como estruturais e comportamentais

Apesar da grande quantidade de diagramas envolvidos no UML, nem todos os processos de desenvolvimentos de software utilizam todos eles. Em [\[27\]](#), a grande extensão de diagramas UML não é usada pela maioria das metodologias. A metodologia de desenvolvimento de SMA utiliza-se apenas dos seguintes diagramas:

- Diagrama de Caso de uso
- Diagrama de Sequência

Diagrama de Caso de Uso Casos de uso são relatos textuais que são utilizados para descobrir e descrever os requisitos do sistema. Consiste na descrição de como um ator utiliza uma funcionalidade do sistema para atingir algum objetivo relacionado. Em [\[27\]](#), os casos de uso devem ser prioritariamente desenvolvidos de forma textual e o seu respectivo diagrama deve ser desenvolvido de forma secundária, somente para ilustrar o relato textual.

Um dos objetivos do caso de uso é a facilidade do levantamento dos requisitos, tanto para os analistas de um sistema, quanto para os clientes envolvidos. A definição de uma modelagem em comum facilita entre as partes faz do caso de uso uma boa maneira de simplificar o entendimento do comportamento do sistema [\[27\]](#), bem como envolver todos as partes interessadas do sistema(*stakeholders*) na construção do mesmo. Em [\[16\]](#), o caso de uso é um contrato de como será o comportamento do sistema. Este contrato será feito por meio dos atores que existirão, da sua interação com o sistema, bem como os cenários existentes.

Duas definições fazem-se necessárias para o entendimento do caso de uso. A primeira delas é o "Ator" do caso de uso. Ele é um objeto com um comportamento definido no sistema. É possível definir o ator como uma pessoa, organização ou mesmo o próprio sistema (quando utiliza serviços do próprio sistema), desde que tenham sempre um papel relacionado. Existem três tipos de atores relacionados ao sistema:

- Ator Principal: Seus objetivos são satisfeitos por meio da utilização do sistema.

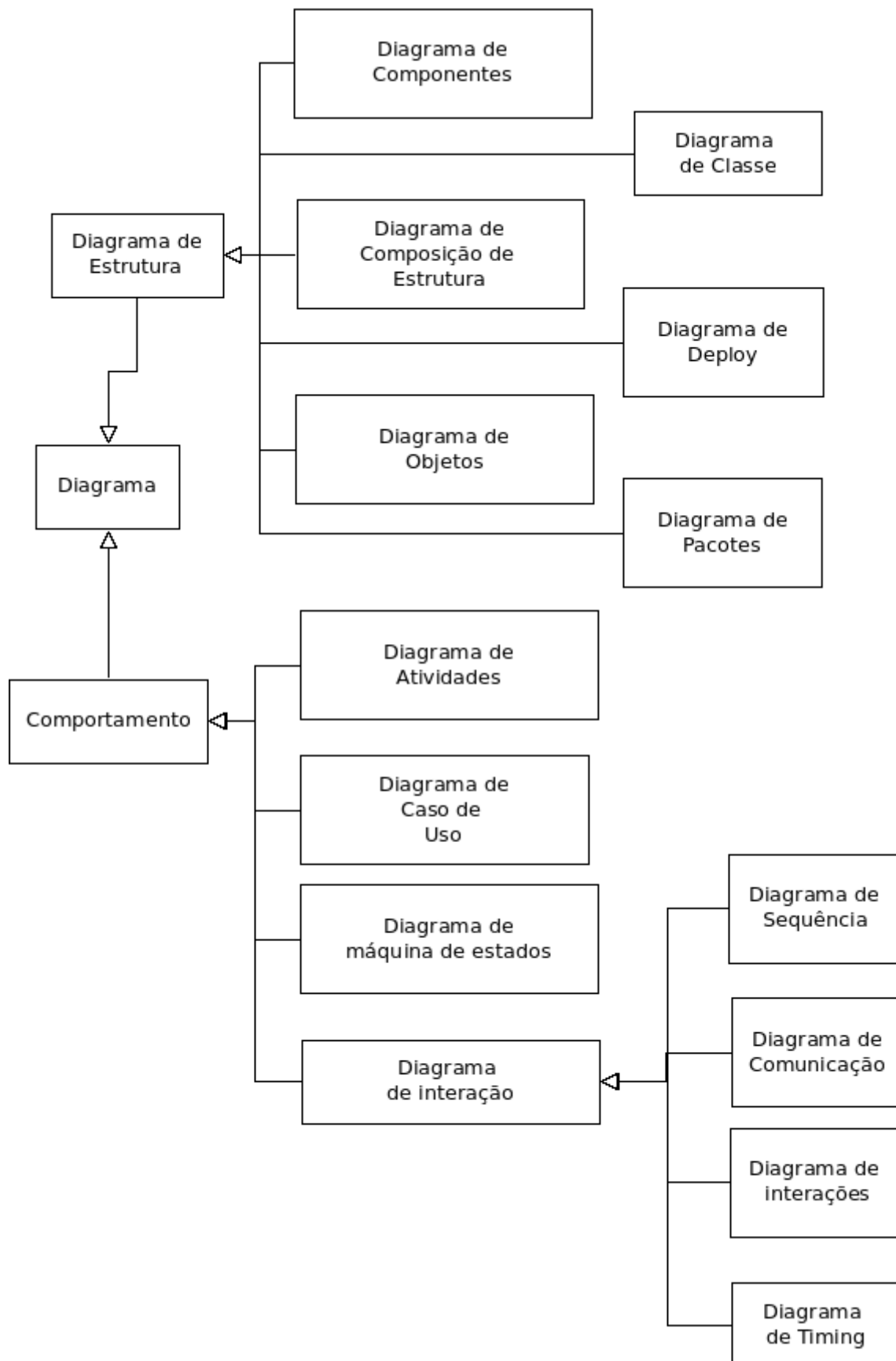


Figura 2.10: Categorização dos Diagramas UML 2.0. Adaptado de [20].

Tabela 2.6: Estruturação Detalhada de Caso de Uso

Seção do Caso de Uso	Significado
Nome do Caso de Uso	Nome do caso de uso, iniciando-se com um verbo
Escopo	Escopo descrito pelo caso de uso
Nível	Podem ser níveis de objetivo de usuário (quando descrevem os cenários para atingir o objetivo do usuário) ou nível de subfunção (subpassos para dar suporte a um objetivo de usuário)
Ator Principal	O ator que procura os serviços para atingir seus objetivos
Interessados e Interesses	Significado
Pré-Condições	Condições que antecedem o caso de uso e são necessárias para atingir os objetivos
Garantia de Sucesso	Objetos que podem ser analisados após a execução do caso de uso a fim de validar a correta execução do sistema
Cenário de Sucesso Principal	Chamado também de fluxo básico, este cenário descreve o fluxo principal do sistema que satisfaz os interesses dos interessados.
Extensões	Chamado também de fluxos alternativos, são fluxos auxiliares ou cenários de erros que são relacionados ao cenário de sucesso principal
Requisitos Especiais	Registram requisitos não funcionais do sistema e que estão relacionados com o caso de uso
Lista de Variantes Tecnológicas de Dados	Listagem de dificuldades técnicas, desafios técnicos que valem a pena registrar no caso de uso
Frequência de ocorrência	Frequência de ocorrência deste caso de uso

- Ator de Suporte: Fornece algum serviço para o sistema.
- Ator de Bastidor: Expressa algum interesse pelo comportamento do caso de uso.

A segunda definição envolvida é a de cenário. Um cenário é uma sequência de interações entre os atores e o sistema. Os cenários são separados por ações de interesses de atores. Logo o caso de uso pode ser considerado como um conjunto de cenários de interações de atores com o sistema.

Dessa forma, o caso de uso deve deixar claro os requisitos funcionais do sistema, bem como o seu comportamento. Existem três formas de se escrever um caso de uso, diferindo em seu nível de formalidade e formatos: Resumido, informal e completo. Este trabalho usará o nível de caso de uso completo, devido ao fato de ser estruturado e mostrar mais detalhes. Os casos de uso são estruturados de diversas formas. Em a literatura, sendo a mais famosa [27] a estrutura utilizada por Alistar Cockburn [16] e detalhada neste trabalho. 2.6

A diagramação do caso de uso por UML é uma forma de representação do sistema, mostrando fronteiras do sistema, comunicação e comportamento entre os atores. Em 2.11

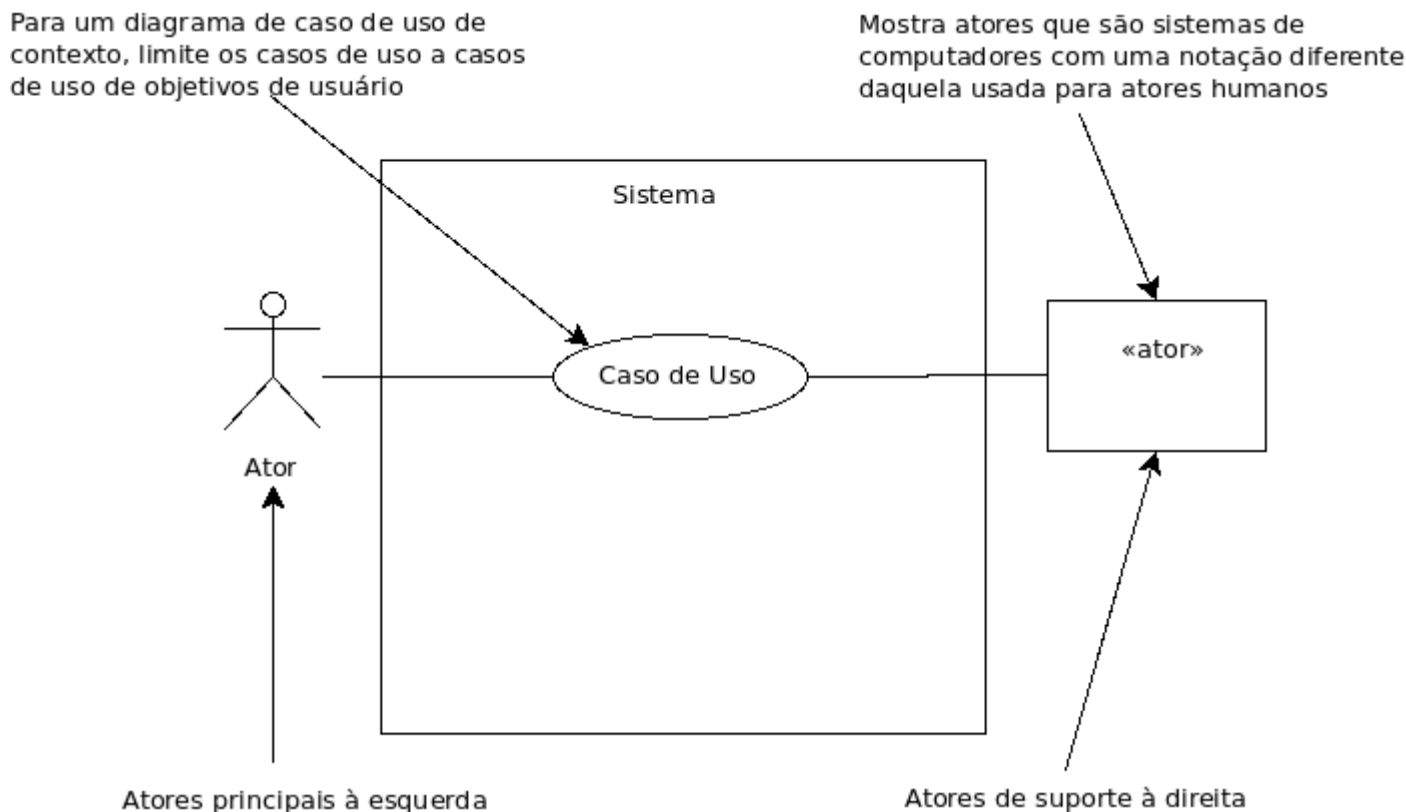


Figura 2.11: Sugestões de notação de caso de uso proposto por [27]

é mostrado a sugestão de diagramação do caso de uso, propondo forma de representação de atores, casos de uso e atores auxiliares.

Diagrama de Sequência O Diagrama de Sequência é um documento criado para ilustrar os eventos descritos em um caso de uso de forma sequencial e temporal, mostrando a interação de atores externos ao sistema e os eventos que eles geram durante essa interação. A UML possui uma notação específica para este diagrama, onde todos os elementos são representados.

Neste diagrama, são representados para cada cenário do caso de uso os eventos que os atores geram, bem como a ordem da sua interação. No diagrama os atores são representados na parte superior (com a mesma notação do diagrama de caso de uso). Abaixo dos atores é apresentada a linha de tempo, crescendo de cima para baixo.

Durante a interação do ator com o sistema, eventos de sistema são gerados e iniciam toda a execução do cenário do caso de uso, ou operação do sistema. A execução dos eventos ocorre até o último evento cronológico na linha do tempo. Os eventos gerados pela interação entre os atores ocorrem na linha do tempo de forma cronológica e ordenada com a mesma ordem dos eventos do cenário do caso de uso.

A nomenclatura dos eventos deve sempre iniciar com um verbo, podendo ser seguida de um substantivo. Além disso, deve-se sempre expressar a nomenclatura em níveis genéricos verbais, nunca detalhando a funcionalidade do sistema.

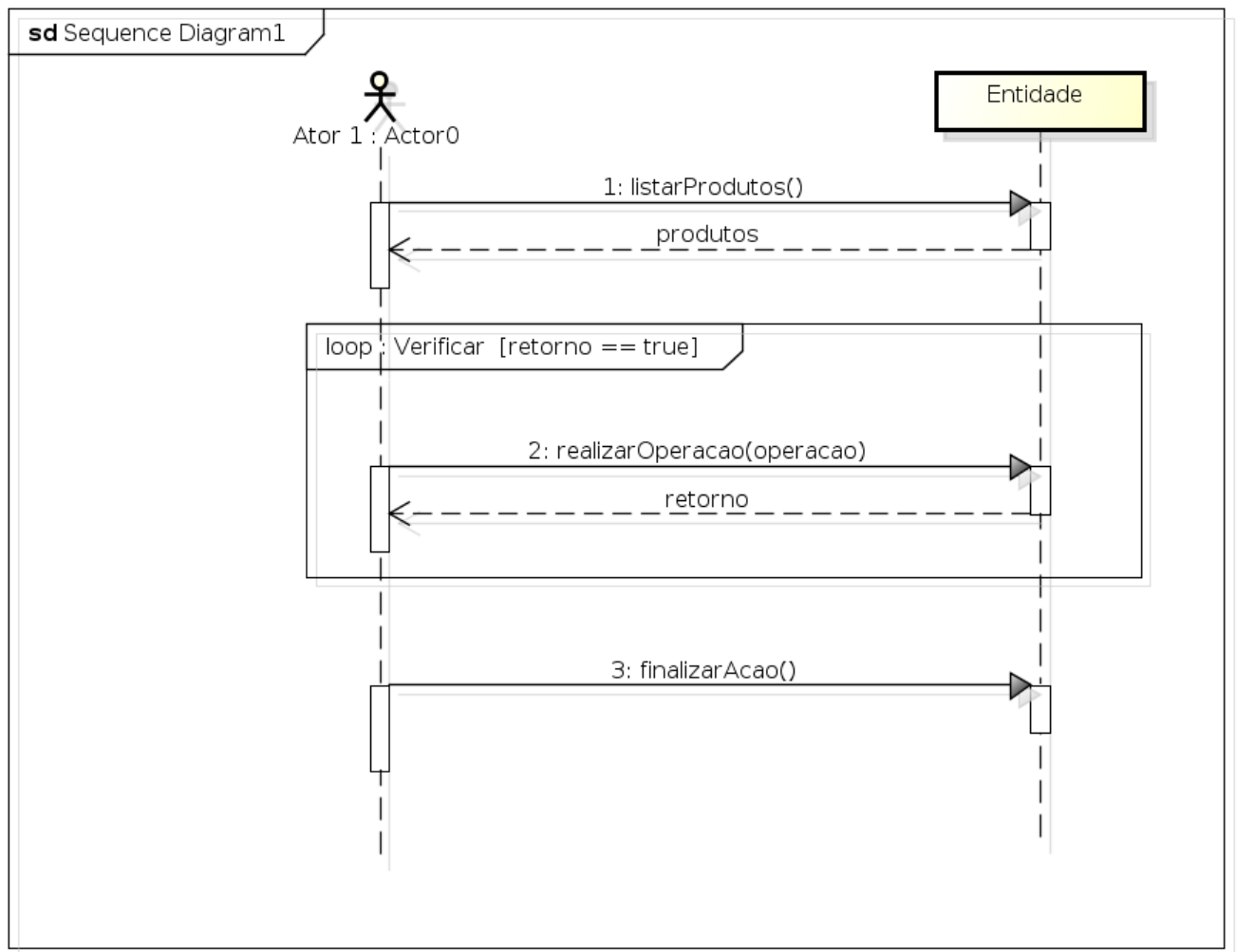


Figura 2.12: Notação de diagrama de sequência, exibindo a comunicação de um ator e uma entidade (sistema)

Na ilustração da notação de diagramas de sequência 2.12 é possível identificar a interação entre um ator e uma entidade do sistema. É fácil identificar que os eventos estão ocorrendo de forma ordenada de cima para baixo.

O primeiro evento é iniciado pelo ator, onde o método (*listarProdutos()*) da Entidade é invocado. Esse método gera a resposta (*produtos*) para o ator. A interação seguinte acontece dentro de um retângulo, do tipo *loop* e de nome "Verificar". Esse retângulo permite que o diagrama de sequências represente um loop, onde todos os eventos serão repetidos enquanto a condição de guarda for verdadeira, no caso do exemplo, enquanto *retorno* for igual a *true*. O UML permite diversos operadores além do loop, como por exemplo a negação, a assertiva, o *break*, dentre outros.

Dentro do retângulo, o ator chama o método (*realizarOperacao*), enviado o parâmetro *operacao*. A entidade retorna um valor, que será testado na guarda para a continuidade da conversação. Por fim, o ator chama o método *finalizarAcao* da entidade. Por não haver outra interação em seguida, o cenário é considerado como encerrado.

A importância do desenho de um diagrama de sequência está no fato de detalhar

os eventos do sistema que são gerados pela interação de atores externos, pois assim é possível ter uma análise comportamental do sistema com base nesses eventos. Neste nível de análise, é possível estudar e projetar o comportamento do sistema no nível de projetar o que ele faz, porém sem necessariamente explicar como o faz [27].

O diagrama de sequência geralmente está relacionado com o caso de uso, primeiramente pelo fato de descrever um cenário de caso de uso, mas também pelo fato de o caso de uso conter todos os detalhes do cenário. Ele apenas deixará claro a interação entre os atores e os eventos derivados dessa interação.

2.4.2 Java Agent Development Framework

JADE é um *middleware* desenvolvido em 1988 pela Telecom Italia, posteriormente (2000) tornando-se em um projeto open source. Seu desenvolvimento de baixo acoplamento permite que seja possível integrar várias bibliotecas auxiliares (*addons*) para facilitar o desenvolvimento de aplicações.

Em [14], ele foi desenvolvido seguindo todas as especificações da FIPA, o que garante uma intercomunicação com outras plataformas. O JADE foi desenvolvido na linguagem JAVA, possibilitando o uso de diversas bibliotecas e frameworks desenvolvidos na linguagem.

O middleware provê várias funcionalidades básicas que abstraem e simplificam o desenvolvimento de aplicações, com o objetivo do desenvolvedor estar mais preocupado com o comportamento do agente do que com a infra estrutura da plataforma.

O sistema de mensagem no JADE funciona de forma assíncrona. Um agente não precisa estar necessariamente disponível para receber as mensagens, visto que elas são enfileiradas e processadas em ordem. Além disso, não é necessário que um agente tenha uma referência para outro agente a fim de comunicar-se.

A arquitetura de um SMA desenvolvido em JADE funciona de forma semelhante à rede P2P (*Peer-to-Peer*), onde cada agente possui um nome único na plataforma - Agent ID (AID) - e é livre para entrar e sair a qualquer momento durante a execução. Uma plataforma JADE possui normalmente os seguintes elementos:

- Agent Management System (AMS) é o agente responsável por supervisionar toda a plataforma e criar um elo entre os agentes. Esse tipo de serviço é chamado de *white pages* e indexa todos os agentes da plataforma.
- Directory Facilitator (DF) é o agente responsável por registrar todos os serviços e prover a funcionalidade de busca para os agentes. Este tipo de serviço é chamado de *yellow pages*.

Os agentes executam em threads separadas garantindo o não compartilhamento de recursos para evitar condições de corrida. A plataforma é responsável também por manter o ciclo de vida dos agentes. Durante a criação dos agentes, eles são automaticamente registrados no serviço de *white pages*

A mobilidade de agentes entre máquinas também é feita de forma transparente pelo JADE. Em [14], a mobilidade do agente pode transportar o estado do agente (sob certas condições) entre processos e máquinas.

Uma das características mais importantes do *middleware* é o suporte nativo à ontologias e linguagens de comunicação FIPA. As ontologias podem ser modeladas (expressando

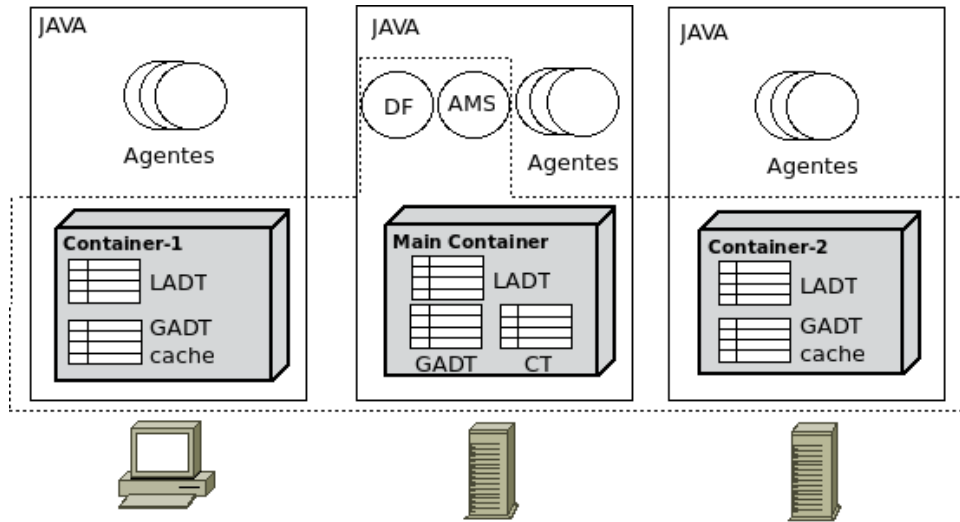


Figura 2.13: Representação da arquitetura principal do JADE. Adaptado de [14].

ações, conceitos e predicados) de forma simples e clara, além de ser possível restringir as ontologias à determinados agentes que devem a conhecer.

Arquitetura

A representação 2.13 do ambiente de execução JADE ilustra os principais elementos da arquitetura distribuídos em três máquinas (dois servidores e um *desktop*). Cada máquina possui um container e vários agentes.

O container principal (*main container*), presente na máquina do centro, possui algumas diferenças entre os outros, chamados de *Container-1* e *Container-2*, abrigando agentes primordiais na plataforma que atendem às especificações da FIPA (número 23 e 61 [13]). O container principal possui o componente *container table* (CT), que possui as referências para os objetos e os endereços de comunicação dos nós que compõe a plataforma.

Além disso, o container principal possui uma tabela global para descrição de agentes (GADT) que registra todos os agentes da plataforma e o seu endereço. Os outros containers possuem uma cópia em cache da tabela para, caso a tabela principal seja corrompida, possa ser substituída.

O primeiro deles é o *Directory Facilitator* (DF), agente responsável por registrar todos os serviços disponíveis na plataforma. O segundo agente é o *Agent Management System* (AMS) é o agente responsável por supervisionar toda a plataforma, registrando os agentes que estão rodando, bem como o seu estado.

Implementação dos Agentes

O JADE define a classe abstrata *Agent*, que é a base para todos os agentes definidos. O desenvolvedor tem apenas o trabalho de estender esta classe e implementar o comportamento no método *setup()*. O fato de estender a classe abstrata implica em herdar várias características já definidas pelo JADE (registro, configuração, etc.) e métodos que podem ser chamados para a implementação do comportamento do agente.

Cada agente possui um identificador único (Agent ID - AID) que identifica o agente em toda plataforma. Por padrão, o formato do AID possui primeiramente o nome do agente seguido do caracter '@', por fim o endereço da plataforma onde o agente está. Este AID é atribuído durante o registro do agente no AMS. Neste registro, é possível também registrar os serviços do agente no DF.

Conforme dito anteriormente, o método *setup()* deverá ser implementado e, no mínimo, deverá ser estabelecido um comportamento para o agente. Este comportamento diz respeito à ação que será realizada pelo agente durante a ocorrência de um evento. O registro/cancelamento dos comportamentos é feito pelos métodos exibidos no trecho 2.7.

Exemplo de Código 2.7: Exemplo de registro de comportamento nos agentes.

```
void addBehaviour( Comportamento )
void removeBehaviour( Comportamento )
void addSubBehaviour( Comportamento )
void removeSubBehaviour( Comportamento )
```

Os comportamentos são separados em primitivos e compostos. A diferença entre ambos é a possibilidade dos comportamentos compostos poderem agregar vários outros comportamentos simples ou compostos, sendo eles: *ParallelBehaviour*, *SequentialBehaviour*. De maneira distinta, os comportamentos primitivos tem relação direta com o tempo, acontecendo durante um período de espera ou após o envio de uma mensagem. São eles: *SimpleBehaviour*, *CyclicBehaviour*, *TickerBehaviour*, *OneShotBehaviour*, *WakerBehaviour* e *ReceiverBehaviour*.

Ciclo de Vida dos Agentes

O JADE implementa o ciclo de vida especificado pela FIPA. Os possíveis estados da plataforma são:

- *INITIATED* - Após a criação do objeto, antes do registro do objeto no AMS, o agente assume o estado de iniciado. Este estado significa que o agente ainda não está disponível para a execução de ações na plataforma.
- *ACTIVE* - Neste estado o agente é registrado no AMS, possuindo assim o AID e o endereço. Ele está pronto para a execução do trabalho na plataforma.
- *SUSPENDED* - O agente está com as atividades suspensas e está em modo ocioso.
- *WAITING* - O agente está bloqueado esperando algum evento acontecer para executar alguma ação. Tipicamente, este estado é usado para fazer o agente esperar por alguma mensagem.
- *DELETED* - O agente está destruído e sua thread de execução é terminada. O seu registro será removido do AMS e a sua referência removida da JVM.
- *TRANSIT* - O agente está movendo-se de uma plataforma para uma nova localização. Mesmo em transit, é possível enviar mensagens para este agente, visto que serão empilhadas na sua fila de mensagens e posteriormente processadas quando ele assumir o estado ACTIVE.

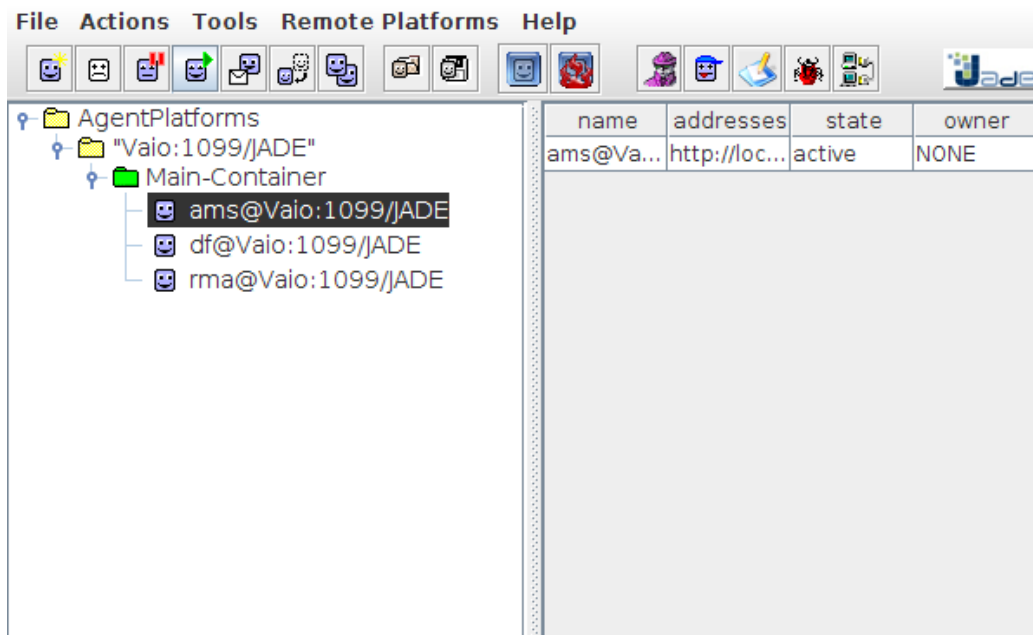


Figura 2.14: Apresentação da Interface do agente RMA

Para cada uma das transições de estados existem métodos que são invocados em um momento anterior. Eles são úteis para a execução de ações que antecedem a mudança de estado. Por exemplo: Durante a mudança do estado ACTIVE para DELETE, o método *doDelete()* é encarregado de implementar ações que antecedam o fim do agente, como que o agente desfça o registro dos seus serviços no DF.

Interface Gráfica

O JADE permite o desenvolvimento de agentes com suporte à interface gráfica. Dessa forma, é possível desenvolver uma interação simples do agente com o ser humano.

Por padrão, o JADE utiliza diversos agentes que utilizam-se de interfaces gráficas para a comunicação dos humanos que, dentre outras funcionalidades, permitem o envio de dados, controle do agente e testes da plataforma. Ferramentas como gerência dos *containers*, visualização do DF, criação de mensagens a partir de agentes falsos (*sniffers*), dentre outros são disponibilizados nativamente para o desenvolvedor.

Na representação básica do exemplo do agente RMA 2.14, é apresentada sua interface gráfica com o ambiente de execução em tempo real. É possível identificar apenas o *container* principal da aplicação. Nele, existem os três agentes principais registrados descritos anteriormente: AMS, DF e o próprio RMA.

2.4.3 JBoss Seam

No mundo corporativo do JAVA, muitos frameworks são responsáveis por partes específicas de uma aplicação. Seguindo as especificações propostas para a plataforma (JSR), as aplicações implementam integrações com o banco de dados (Hibernate, JPA), integração com a camada de visualização (Struts 1 [1] e 2 [2], JSF [5]), contextos Java e

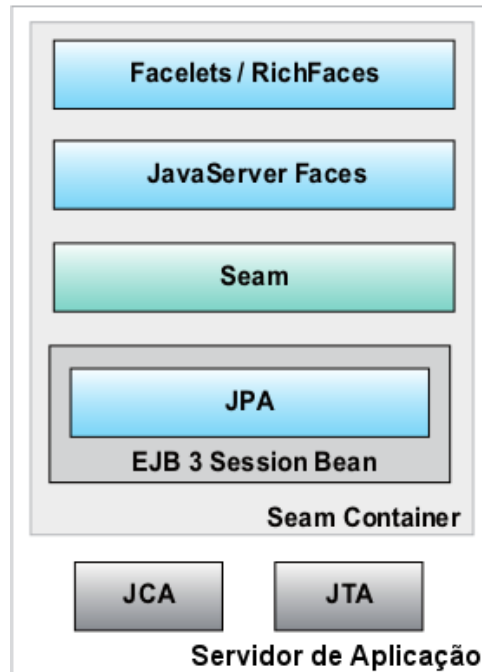


Figura 2.15: Representação da pilha de aplicações do Seam. [10]

injeção de dependência [6]. Porém a integração destes frameworks nem sempre é trivial, demandando muito tempo dos desenvolvedores para a correta configuração.

Neste aspecto surge o JBoss Seam. Ele é um *framework* que reúne as principais tecnologias de desenvolvimento web na linguagem Java. Ele integra as tecnologias *Asynchronous JavaScript and XML* (AJAX), *JavaServer Faces* (JSF), *Java Persistence* (JPA), *Enterprise Java Beans* (EJB 3.0) e *Business Process Management* (BPM) em uma única ferramenta que objetiva o desenvolvimento ágil de aplicações e o foco do programador na lógica de negócio [9].

A pilha de aplicações do Seam 2.15 são todas as tecnologias que são utilizadas pelo JBoss Seam. Caso o desenvolvedor deseje utilizar outras tecnologias, o Seam provê configurações para que outras ferramentas possam ser integradas facilmente à aplicação.

Em [10], uma das principais ferramentas do Seam é o *seam-generator*. Com ele, é possível gerar uma estrutura básica de projeto, com arquivos de construção, bibliotecas compatíveis e as configurações necessárias para o início do desenvolvimento e o *deploy* em um servidor de aplicação.

Além disso, uma das grandes vantagens do *seam-generator* é a geração automática de código, criando a partir de uma tabela no banco de dados todas as operações necessárias para a visualização, inserção, exclusão e atualização de dados (CRUD), diminuindo assim o tempo de desenvolvimento de aplicações.

2.5 Trabalhos Correlatos

É possível fazer comparações deste trabalho com diversas áreas de conhecimentos correlatos. Os trabalhos presentes nesta seção foram selecionados a partir de um levantamento que buscou soluções para melhorias na educação com o apoio de tecnologia. Estes

trabalhos estão relacionados com a área de atuação deste trabalho, seja em Inteligência Artificial, Estilos de Aprendizagem, SMA ou AVA.

Na área de auxílio de alunos, alguns trabalhos assemelham-se com o propósito deste trabalho. A implementação de um agente artificial integrado à um tutor inteligente [35] que identifica dificuldades de aprendizagem por meio de técnicas de Inteligência Artificial. Ele prima pela agradável interação com humanos com o intuito de facilitar a compreensão da ferramenta. Sua abordagem porém não é voltada para a abordagem multidimensional de inferência do aluno, bem como a solução não prevê a inferência de dados vindos de outros Ambientes Virtuais de Aprendizagem.

O trabalho [12], na área de identificação de conhecimentos, visa a determinação de estilos de aprendizagem dos alunos por meio da plataforma chamada "Ferramenta de Identificação de Perfis de Aprendizes – FIPA", uma aplicação multicamadas que faz a identificação do perfil é feita por meio de questionários de estilos de aprendizagem. Apesar da inferência do estilo de aprendizagem, esta plataforma utiliza uma abordagem distinta deste trabalho, sendo uma arquitetura cliente-servidor.

Esta arquitetura não possui alguns benefícios da abordagem SMA que estão descritas em [23]: A possibilidade de representação de entidades individuais como, no domínio deste trabalho, a modelagem do conhecimento de cada aluno por meio de agentes. Outra característica é a representação das suas interações por meio de equações, regras ou operações lógicas que podem flexibilizar a modelagem. Por fim, modelos baseados em agentes são recomendáveis para simulações devido as suposições realísticas inerentes a seu domínio.

O trabalho [22] utiliza-se da abordagem SMA para a adaptação do ensino na internet. A adaptação ocorre conforme as características individuais de cada aluno e pode modificar características como a estratégia de ensino, seleção de materiais que são mais adequados ao aluno de acordo com o seu perfil. Este ambiente assemelha-se bastante com o presente trabalho, porém o seu foco não é na modelagem multidimensional do aluno.

A modelagem multidimensional tem por objetivo a separação clara das dimensões do aluno para restringir o domínio de atuação de cada agente. Dessa forma, cada a gente expressará uma quantidade menor de propriedades de cada dimensão, sendo possível obter uma informação mais precisa e expressiva de cada dimensão, conforme pode ser visto nas simulações em [23].

Por fim, o Ambiente Virtual de Aprendizagem EDULIVRE [30] constitui-se de um Ambiente Virtual de Aprendizagem que possibilita a inferência implícita de modelos e perfis individuais de estudantes da educação infantil. Com o perfil de cada aluno e de todos os alunos em geral, o educando poderá desenvolver nortear seu trabalho da melhor forma possível. A abordagem deste trabalho não é com uso de agentes, diferindo assim do foco deste trabalho. Além disso, o EDULIVRE apresenta a estratégia de ser o Ambiente Virtual de Aprendizagem e não permite integração com outros ambientes.

Conforme exposto alguns trabalhos na área de IE utilizam de diversas tecnologias ou abordagens para a construção de ambientes de ensino-aprendizagem. Todavia, o capítulo seguinte apresentará uma proposta que tende melhorar o modelagem do perfil de aprendizagem por meio da definição de uma arquitetura específica baseada em SMA. Essa arquitetura apresenta aspectos que tangem o modelo multidimensional do aluno propondo uma divisão de agentes para inferência do perfil e aspectos da infraestrutura do ambiente de ensino-aprendizagem.

Capítulo 3

Proposta de Solução

O presente capítulo apresenta as características da aplicação Frank, bem como detalha a modelagem da solução e a sua arquitetura. Além disso, o capítulo explica a metodologia de desenvolvimento utilizada do trabalho.

Basicamente, a solução é composta por sete diferentes tipos de agentes:

1. *GatewayAgent* - Agente responsável pela interface com a plataforma web que irá interagir com os alunos e docentes.
2. *WebServiceAgent* - Agente responsável pela interface com o Ambiente Virtual de Aprendizagem.
3. *ManagerAgent* - Agente responsável pelo controle da plataforma
4. *WorkgroupAgent* - Responsável pelos agentes cognitivo, afetivo e metacognitivo.
5. *CognitiveAgent* - Responsável pelo modelo cognitivo do aluno.
6. *MetacognitiveAgent* - Responsável pelo modelo metacognitivo.
7. *AffectiveAgent* - Responsável pelo modelo afetivo.

A solução é baseada em grupos de trabalho por aluno. Após a autenticação do aluno em uma plataforma *web*, o SMA realiza a criação dos agentes de grupo de trabalho para o aluno: *WorkgroupAgent*, *CognitiveAgent*, *MetacognitiveAgent*, *AffectiveAgent*. Esses agentes são responsáveis pela manutenção do modelo multidimensional do aluno na plataforma e são atualizados conforme os dados forem enviados pelos agentes interfaces com o ambiente externo.

O primeiro agente interface, *GatewayAgent*, é responsável pela interação direta com a plataforma web. Essa plataforma irá interagir com os alunos (por meio de questionários de estilo de aprendizagem) e docentes (notificando o estilo de aprendizagem dos seus alunos) e encaminhará os dados para o agente em questão, que repassará ao ambiente.

O agente interface *WebServiceAgent*, é responsável pela comunicação com os web services do SMA Frank, que é a forma escolhida para futuras interações com os Ambientes Virtuais de Aprendizagem. Por fim, o agente *ManagerAgent* é responsável pela criação dos agentes.

As seções seguintes detalham a metodologia, justificam a arquitetura da solução por meio da modelagem definida na metodologia MASE.

3.1 Metodologia

Para a realização deste trabalho, foi planejada uma metodologia de desenvolvimento na qual objetivou-se a construção da arquitetura do SMA por meio de uma metodologia de desenvolvimento de SMAs. Inicialmente, foi necessário um levantamento de bibliografias relacionadas à Informática na Educação para o entendimento do problema do trabalho, além de levantamentos de uso de SMA em contextos pedagógicos.

Após a escolha da metodologia de desenvolvimento, justificada no capítulo 2, foram realizados estudos aprofundados acerca da metodologia MASE para a modelagem deste trabalho. Após o levantamento inicial, seu uso é dividido em duas fases, sendo a primeira delas essencial para o levantamento dos requisitos necessários para cumprir os objetivos. A segunda fase foi importante para a distribuição das regras entre os agentes que existem no sistema. As primeiras subseções deverão detalhar a modelagem.

A arquitetura básica do sistema já havia sido previamente decidida [17], sendo necessário detalhar seus requisitos por meio da metodologia MASE. Além disso, os Ambientes Virtuais de Aprendizagem deveriam ser capazes de comunicar-se com a solução proposta, ou seja, a comunicação deve ser feita de forma independente da linguagem de programação. Por fim, foi definido [17] o nome da aplicação solução a ser desenvolvida: *Frank*.

Posteriormente o trabalho seguiu-se com a implementação do SMA na linguagem JAVA, utilizando-se das ferramentas JADE e JBoss Seam. As subseções seguintes deverão detalhar a implementação do SMA e da camada *web*, bem como a sua integração.

Por fim, a solução foi testada por meio de cenários que simulavam o uso por meio dos atores Aluno e Docente. A demonstração está detalhada no capítulo 4.

3.2 A Modelagem

A modelagem foi desenvolvida utilizando-se a ferramenta *agentTool*. A ferramenta possui meios para diagramar todas as fases e passos do MASE, auxiliando o analista em todos os diagramas necessários, além de gerar código automático para alguns frameworks de SMA.

A metodologia é dividida em duas fases: Análise e Design. A primeira fase 3.2.1, responsável pelo levantamento de requisitos e entendimento das regras e tarefas, e a segunda fase 3.2.2 responsável pela criação dos agentes, conversações e componentes internos.

3.2.1 Análise

A metodologia inicia-se com o passo de captura das metas. Para tanto, foi necessário primeiramente um levantamento inicial dos requisitos do SMA. Os requisitos foram levantados e compreendidos por meio da sua documentação inicial [17], onde é possível listar:

1. O sistema deve manter um modelo do estudante, onde será determinado o seu estilo de aprendizagem e será notificado ao docente.
2. O sistema deve assistir (auxiliar) o aluno por meio de um grupo de trabalho.

3. O sistema deve fazer interface com Ambiente Virtual de Aprendizagem, a fim de estabelecer comportamentos do estudante.
4. O sistema deve criar uma modelagem cognitiva do aluno, onde são mantidas informações sobre o desempenho, de acordo sua interação em Ambiente Virtual de Aprendizagem, e informações a respeito do seu estilo de aprendizagem.
5. O sistema deve criar uma modelagem metacognitiva do aluno, onde são armazenadas informações com o intuito de melhorar processos de aprendizagem de domínios específicos.
6. O sistema deve criar uma modelagem afetiva do estudante, especificamente a respeito da modelagem da personalidade e emoções do estudante.
7. O sistema deve fazer interface com Ambiente Virtual de Aprendizagem.
8. O sistema deve refutar ou confirmar o estilo de aprendizagem do aluno a partir do desempenho relacionado à interação com o sistema e/ou com Ambiente Virtual de Aprendizagem.
9. O sistema SMA deve atualizar o modelo do estudante com base em inferências a partir dos registros de trabalho do estudante.
10. O sistema deve construir o modelo do estudante a partir de uma modelagem explícita, ou seja, a partir do feedback explícito do estudante (questionário).
11. O sistema deve construir o modelo do estudante a partir de uma modelagem implícita, ou seja, a partir do desempenho obtido nas ferramentas de aprendizado.

A partir destes requisitos, foi possível estabelecer metas que o sistema deveria atingir para satisfazê-los:

1. Manter um modelo do estudante.
2. Auxiliar o aluno por meio de um grupo de trabalho (Workgroup).
3. Notificar ao docente.
4. Interface com ambientes de virtuais de aprendizagem.
5. Interface com o Aluno.
6. Criar modelagem cognitiva.
7. Criar modelagem metacognitiva.
8. Criar modelagem modelagem afetiva.
9. Criar modelagem da personalidade.
10. Criar modelagem das emoções do estudante.

11. Confirmar estilo de aprendizagem do aluno.
12. Refutar estilo de aprendizagem do aluno.
13. Construir modelo de desempenho do aluno.
14. Construir modelagem explícita.
15. Construir modelagem implícita.
16. Construir modelo de estilo de aprendizagem do aluno.

A partir do levantamento, foi possível observar que a meta 1 abrange o escopo geral de toda a aplicação, sendo possível estabelecer como meta do sistema. A meta 2 indica que o SMA deverá criar um grupo de trabalho para cada aluno que estiver usando o sistema. O grupo de trabalho deve ser composto pelos agentes cognitivo, afetivo e metacognitivo, onde cada um possui suas respectivas metas. No levantamento, foram previstas três interfaces: Interface *web* com o Aluno, notificação do docente (via *web*) e interface com ambientes de virtuais de aprendizagem.

A hierarquia de metas do SMA Frank 3.1 foi desenvolvida para encontrar quais metas poderiam ser estabelecidas com o cumprimento de outras. Os retângulos em cinza representam metas particionadas.

Foram levantados 5 principais casos de uso, alguns com fluxos alternativos que representam fluxos alternativos no caso de uso, mas não necessariamente implicam em uma execução no SMA, apenas na parte *web*, como por exemplo: Erro de Login. Para fins de detalhamento, este trabalho utiliza-se da notação completa de desenvolvimento de casos de uso.

O primeiro caso de uso diz respeito à modelagem cognitiva do aluno. Existem dois cenários possíveis: Modelagem implícita (principal cenário de sucesso) e modelagem explícita (cenário alternativo). Basicamente o SMA deverá processar o questionário de estilos de aprendizagem, respondido pelo aluno, para inferir explicitamente o seu modelo cognitivo e deverá analisar as respostas enviadas por ele para inferir explicitamente o seu modelo cognitivo.

O segundo caso de uso descreve o cenário de notificação do docente. Nele, o docente é autenticado no sistema e o sistema exibe uma lista de alunos disponíveis nas mais diversas turmas. O docente seleciona um aluno e então o sistema exibe os dados relativos ao modelo do aluno. O trecho possui a descrição do caso de uso.

Os terceiro e quarto casos de uso dizem respeito à inferência do modelo afetivo e metacognitivo do aluno, respectivamente.

Por fim, o último caso de uso foi levantado para prever a interação do AVA com o SMA Frank. Devido a possibilidade dos Ambientes Virtuais de Aprendizagem serem desenvolvidos em qualquer linguagem, é necessário utilizar-se de uma forma de comunicação comum entre aplicações.

Logo o SMA Frank irá utilizar-se de WebServices para a comunicação externa, garantindo que diversas aplicações poderão interagir com o SMA. Para novos AVAs, tudo o que precisará ser feito é a implementação da assinatura do serviço no WebService. Dessa forma a solução garante uma intervenção mínima no código do AVA, exigindo menos

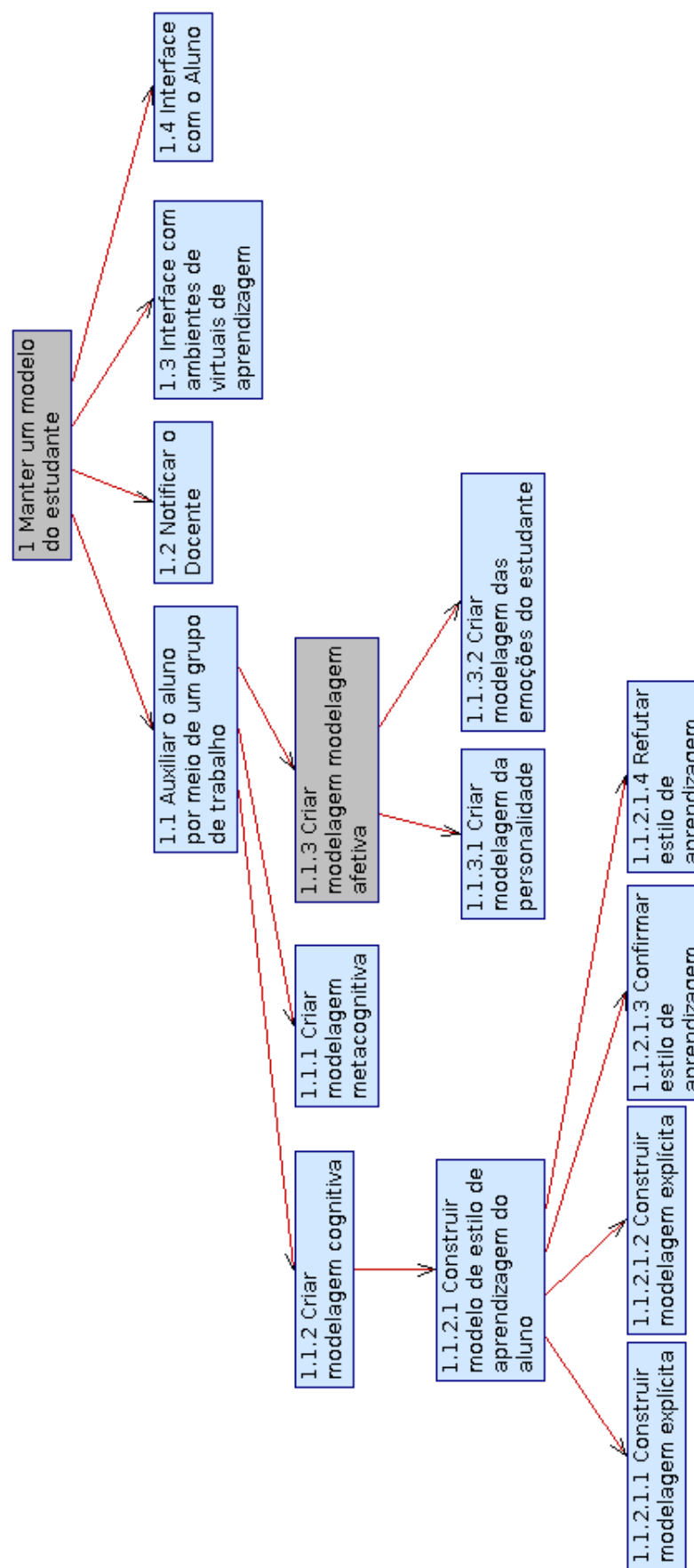


Tabela 3.1: Hierarquia de Metas do SMA Frank.

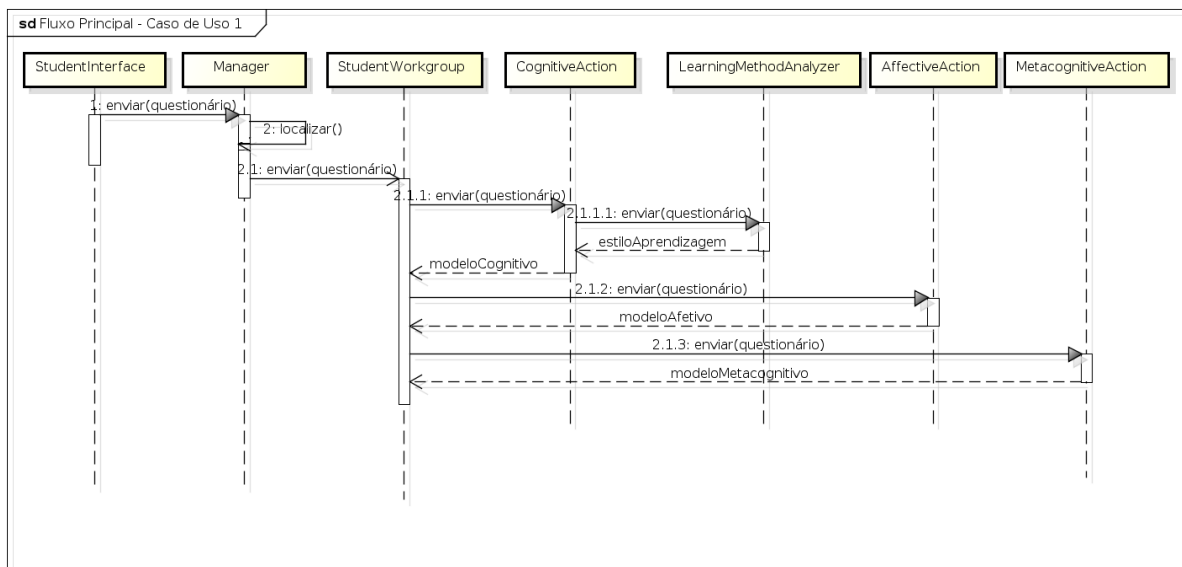


Figura 3.1: Diagrama de sequência do fluxo principal, caso de uso 1.

tempo na codificação da comunicação e garantindo o foco na inferência à ser feita pelo SMA. Segue a descrição do caso de uso.

Após o desenvolvimento dos casos de uso, foi necessário refinar os diagramas de sequência. Todos os diagramas foram desenvolvidos na ferramenta *agentTool*, visto que ele acompanha todas as fases do MASE. Para o primeiro caso de uso, foram desenvolvidos dois diagramas de sequência distintos: Um para o fluxo principal e outro para o fluxo alternativo.

No diagrama de sequência 3.1 do caso de uso 1 existem 6 regras. O fluxo do Sistema inicia-se com a regra *StudentInterface*, onde ele envia os dados de questionário para o *Manager*. Este então gera um evento de localização do aluno. Em seguida, gera o evento enviar para a regra *StudentWorkGroup*, com o parâmetro *questionário*. A regra *StudentWorkGroup* gera o evento de enviar para as regras *CognitiveAction*, *AffectiveAction* e *MetacognitiveAction*. Eles retornam respectivamente os modelos *Cognitivo*, *Afetivo* e *Metacognitivo*. A regra *cognitiveAction* ainda gera mais um evento de envio para a regra *LearningMethodAnalyzer*, que retorna o estilo de aprendizagem.

A representação do fluxo de exceção 3.2 do primeiro caso de uso ilustra a regra *WebServiceInterface*, que recebe os dados do AVA e envia para a regra *Manager* por meio do evento *enviar*. Após esse evento, a regra *StudentWorkgroup* recebe o evento e reenvia para *CognitiveAction*. Em seguida ele envia para as regras *LearningMethodAnalyzer* e *PerformanceAnalyzer* que vão inferir o estilo de aprendizagem e a performance. Por fim, com estes dados, o modelo cognitivo é retornado para a regra *StudentWorkgroup*.

A representação do fluxo principal 3.3 do caso de uso 3 ilustra a inferência afetiva. O processo de comunicação das regras *WebServiceInterface* e *StudentWorkgroup* funciona de forma semelhante ao diagrama anterior. A regra *AffectiveAction* gera um evento de inferência de modelagem afetiva.

O diagrama de sequência 3.4 do caso de uso 4 funciona de forma similar ao caso de uso anterior, com a diferença de que a regra *MetacognitiveAction* realiza a inferência da modelagem metacognitiva.

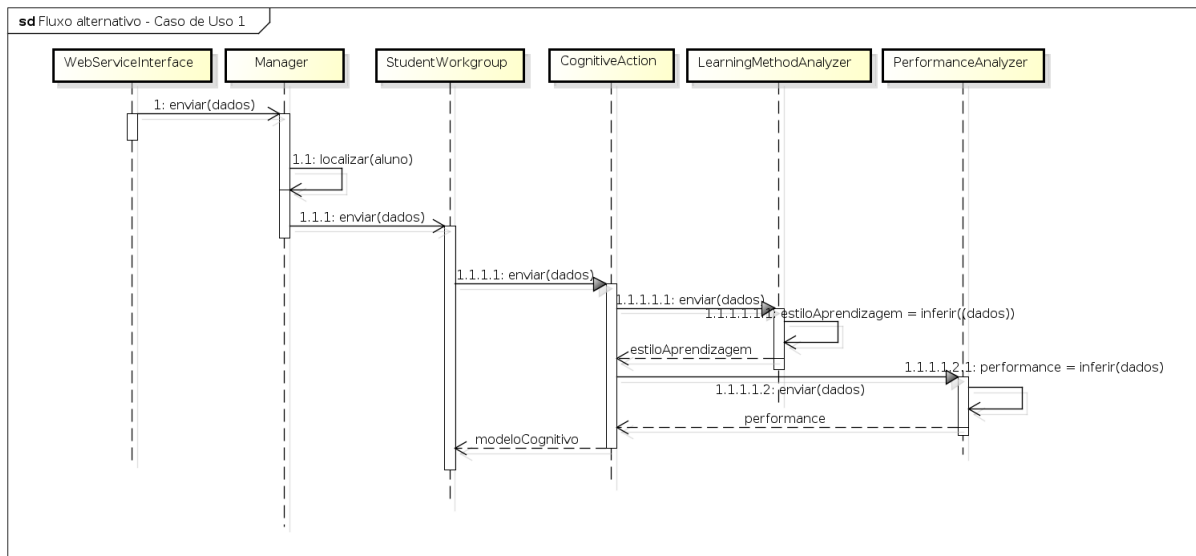


Figura 3.2: Diagrama de sequência do fluxo de exceção, caso de uso 1.

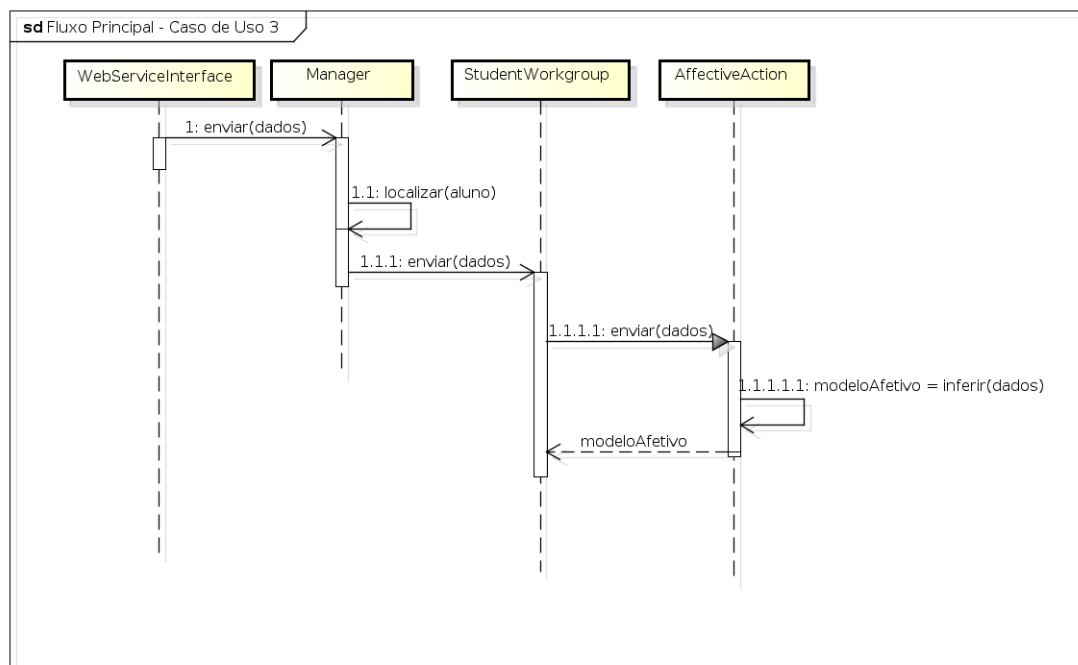


Figura 3.3: Diagrama de sequência do fluxo principal, caso de uso 3.

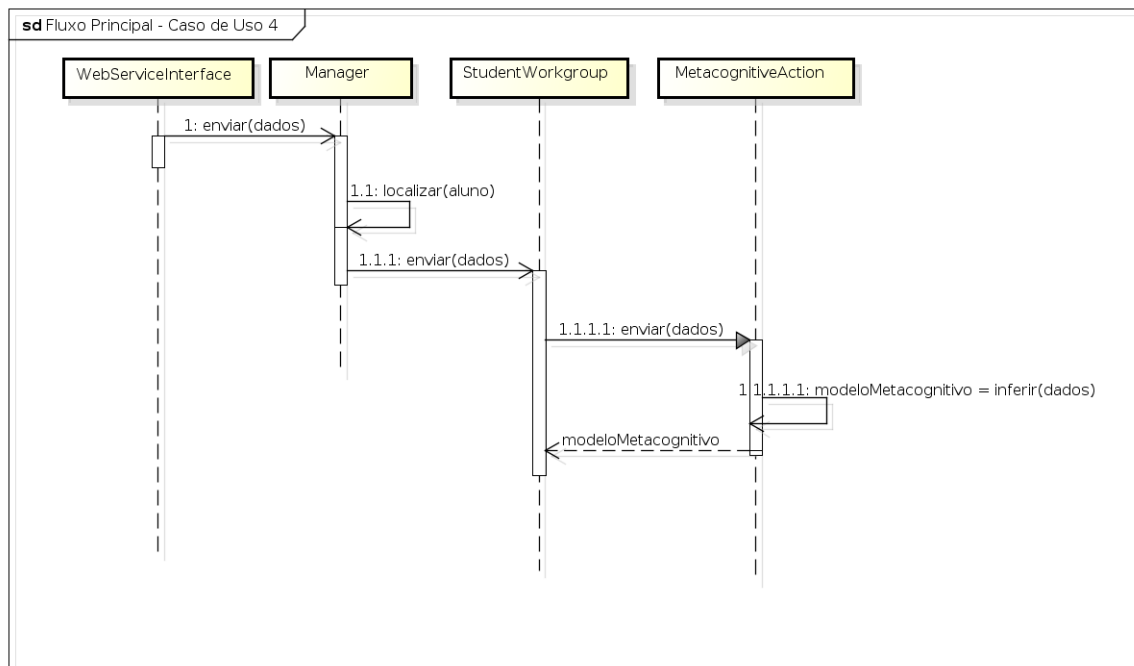


Figura 3.4: Diagrama de sequência do fluxo principal, caso de uso 4.

Por fim o último diagrama 3.5 representa a comunicação da regra *WebServiceInterface* com a regra *Manager*. A primeira realiza a validação de dados e em seguida o envio de dados. Após receber os dados, a regra *Manager* localiza o aluno e continua o fluxo de execução.

Por fim, após o levantamento de todas as regras foi necessário criar tarefas que satisfaçam o cumprimento das regras. Em outras palavras, é necessária a criação do *MASE Role Model*. A organização das metas e tarefas foi feita inicialmente de forma tabular 3.2, onde são organizadas as regras linha a linha, seguidas das respectivas tarefas. É importante ressaltar que, devido aos objetivos deste trabalho, houve um refinamento muito maior do agente cognitivo. Os agentes afetivos e metacognitivos foram apenas projetados na arquitetura.

O *MASE Role Model* 3.6 apresenta toda a sua estruturação das regras e tarefas. De forma geral, a regra *Manager* é a responsável pela gerência de todo o SMA. Ela pode receber os dados da regra *StudentInterface* (Interface Web da Aplicação) ou *WebServiceInterface* (Ambientes Virtuais de Aprendizagem). Além disso, a regra *StudentInterface* possui uma tarefa para autenticação do aluno, onde ela encaminha uma mensagem para a regra *Manager* que cria o workgroup do aluno.

A regra *StudentWorkgroup* será a regra responsável pela gerência do grupo de trabalho do aluno. Ela recebe os dados da regra *Manager* e reencaminha para as regras *Cognitive*, *Affective* e *Metacognitive*. As linhas tracejadas de cor azul representam comunicações internas entre as regras.

A ferramenta *agentTool* automaticamente indicou a criação dos *Concurrent Tasks Diagrams* para cada tarefa. O fluxo de execução pode iniciar-se nas regras *StudentInterface* ou *WebServiceInterface*. Elas representam respectivamente as interações com o Aluno e com o Ambiente Virtual de Aprendizagem.

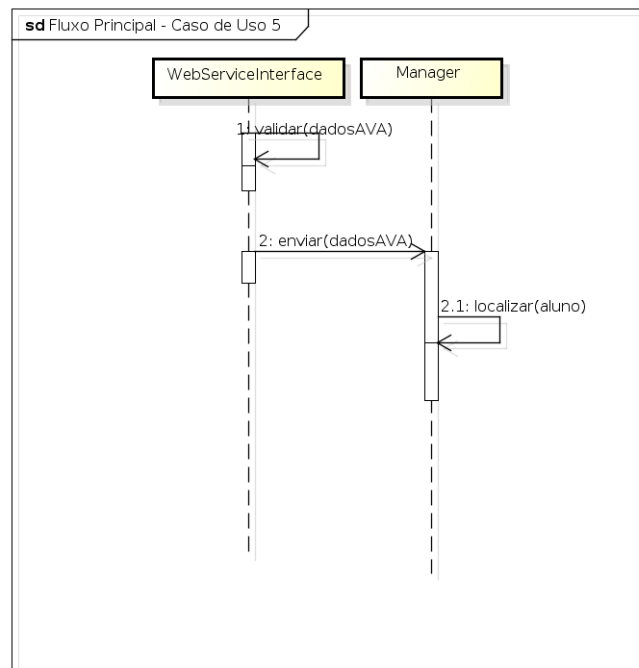


Figura 3.5: Diagrama de sequência do fluxo principal, caso de uso 5.

Tabela 3.2: Estruturação das Tarefas por Regra

Regra	Tarefas
StudentInterface	Validar Dados, Autenticar Aluno
WebServiceInterface	Validar Dados
Manager	Determinar Workgroup do Aluno, Criar Workgroup do Aluno
StudenWorkgroup	Processar Dados, Atualizar Modelo
CognitiveAction	Separar Dados de Aprendizagem, Atualizar Modelo Cognitivo, Atualizar Performance
MetacognitiveAction	Inferir Modelo Cognitivo
AffectiveAction	Inferir Modelo Afetivo
LearningMethodAnalyzer	Analisar Estilo de Aprendizagem
PerformanceAnalyzer	Analisar Performance

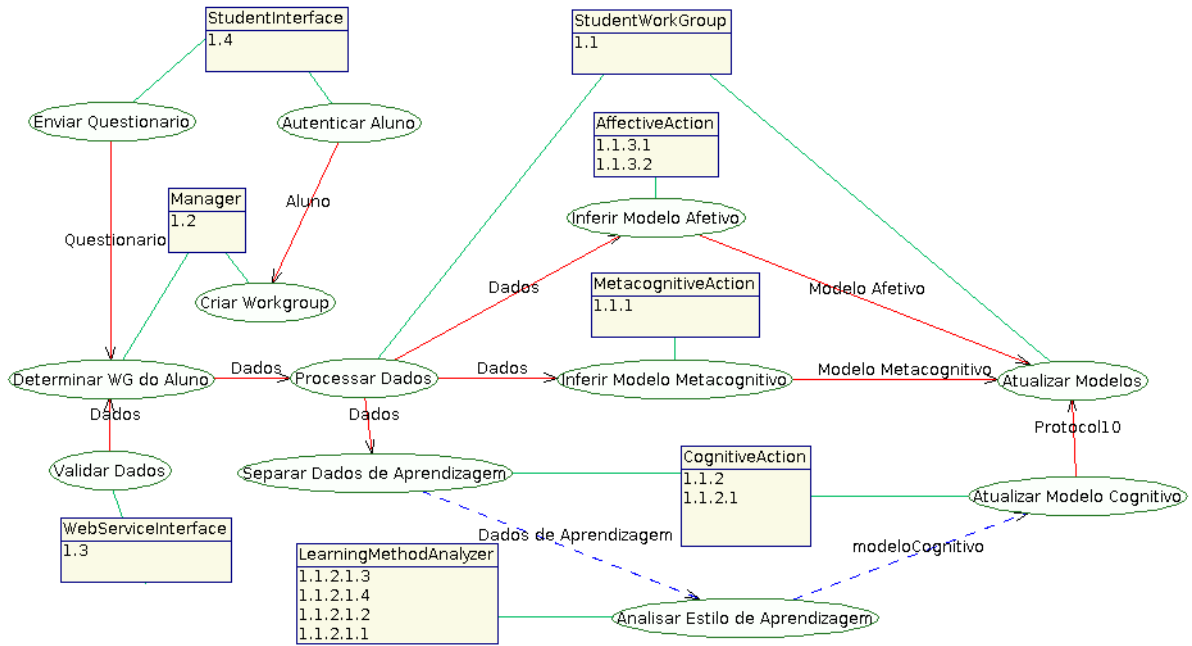


Figura 3.6: Diagrama *MASE Role Model* gerado para o SMA Frank.

Na regra *WebServiceInterface*, o diagrama da tarefa "Validar Dados" 3.7 inicia com o recebimento de uma mensagem de um agente "a" e os dados "DadosWebService". A tarefa passa ao estado "ValidarDados", onde ele recupera as variáveis "idUserario" e "status" (verificação se o usuário é válido no ambiente). Em seguida a variável "status" é testada: Caso seja inválida o agente "a" recebe um código de erro. Caso contrário, a tarefa muda para o estado "enviarDados". Basicamente, o estado procura onde está a tarefa "manager" e encaminha os dados "DadosWebService".

O diagrama da tarefa "Enviar Questionário" 3.8, da regra *StudentInterface* inicia-se com uma mensagem da plataforma *web* contendo os dados do questionário. Esses dados são convertidos para uma linguagem comum no SMA. Em seguida, esse questionário é enviado para o manager.

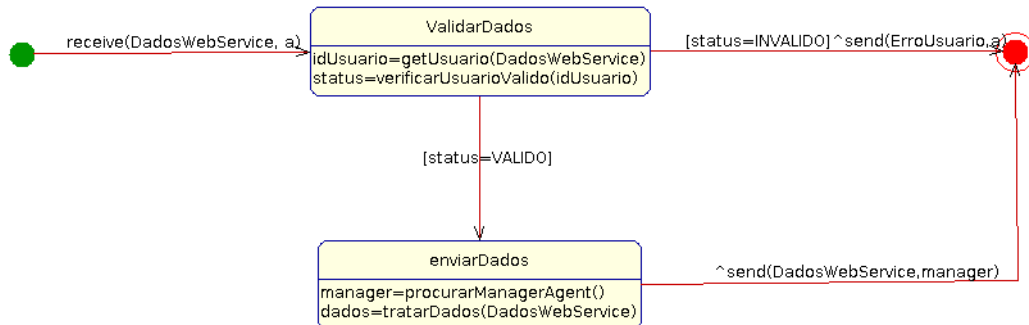


Figura 3.7: Detalhamento da tarefa "Validar Dados" que pertence à regra *WebServiceInterface*.

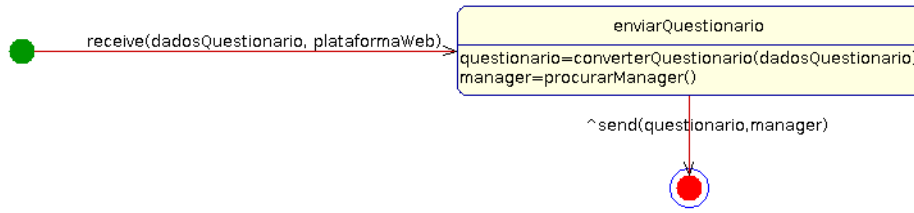


Figura 3.8: Detalhamento da tarefa "Enviar Questionário" que pertence à regra *StudentInterface*.

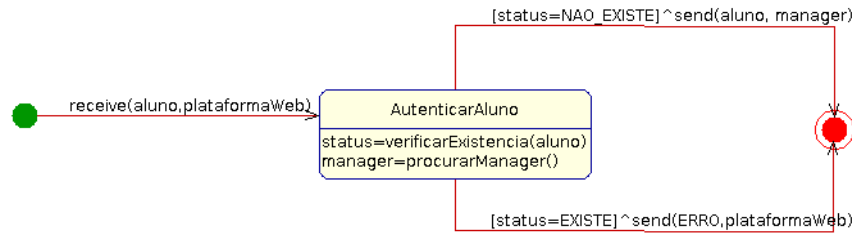


Figura 3.9: Detalhamento da tarefa "Autenticar Aluno" que pertence à regra *StudentInterface*.

Ainda na regra *StudentInterface*, o diagrama da tarefa "Autenticar Aluno" 3.9 inicia com uma mensagem da plataforma *web* contendo o aluno a ser criado. A tarefa verifica a existência do aluno e em caso negativo, envia a mensagem de criação à tarefa *Manager*. Caso contrário, envia uma mensagem de erro à plataforma *web*.

Agora na regra *Manager*, o diagrama da tarefa "Determinar WG do Aluno" 3.10 (Determinar Workgroup do Aluno) inicia-se com entrada de uma mensagem recebida de um agente *agent* e o estado "DeterminarWorkgroup". Basicamente, ele apenas procura o grupo de trabalho do aluno. Por fim, pelo teste de validade do grupo de trabalho (*wg = VALIDO*), os dados são enviados para o respectivo grupo de trabalho caso ele seja válido. Caso contrário, é enviado uma mensagem de erro ao agente que iniciou a conversação.

O diagrama da tarefa "Criar Workgroup" 3.11 da regra *Manager* inicia-se com entrada de uma mensagem vinda da tarefa *studentInterface* e a mudança para o estado "criarWorkgroup". O estado cria os agentes cognitivo, metacognitivo, afetivo e o workgroup propriamente dito. Por fim, caso o workgroup seja válido, ou seja, não tenha ocorrido nenhum erro durante a criação, é enviado um código de sucesso à tarefa *studentInterface*.

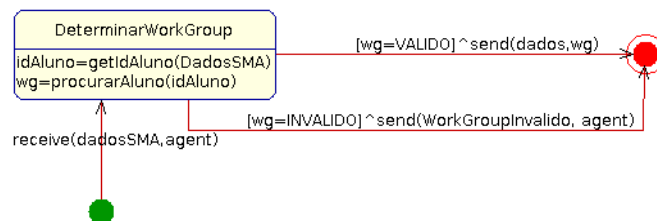


Figura 3.10: Detalhamento da tarefa "Determinar WG do Aluno" que pertence à regra *Manager*.

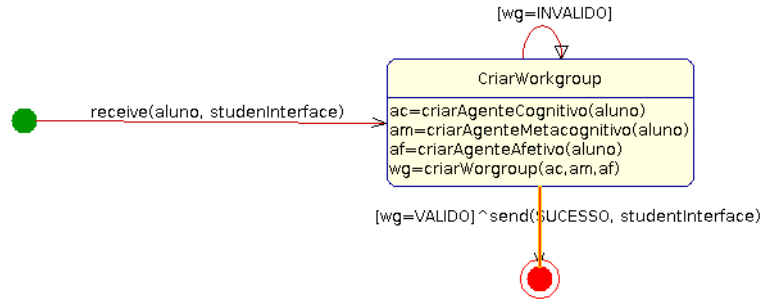


Figura 3.11: Detalhamento da tarefa "Criar Workgroup" que pertence à regra *Manager*.

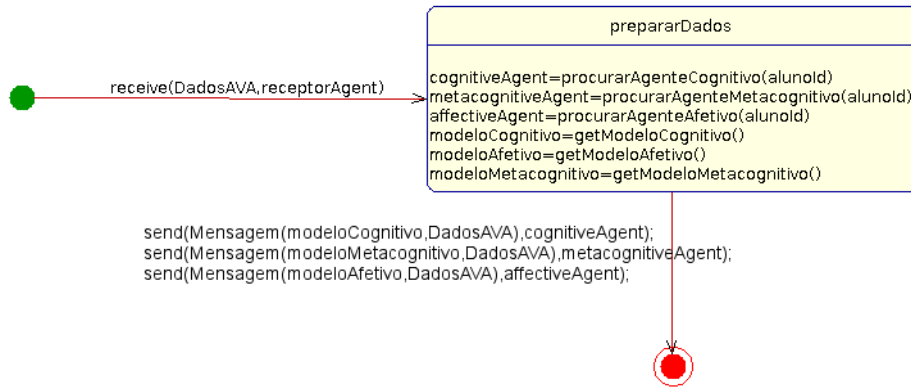


Figura 3.12: Detalhamento da tarefa "Processar Dados" que pertence à regra *StudentWorkgroup*.

Caso contrário, o workgroup deve ser criado novamente.

Agora na regra *StudentWorkgroup*, o diagrama da tarefa "Processar Dados" 3.11 mostra que os modelos do aluno são separados e enviados junto com os dados do SMA para os respectivos agentes.

O diagrama da tarefa "Atualizar Modelos" 3.13 pode parecer mais complexo, porém sua execução é basicamente simples. Ele representa o recebimento das inferências cognitiva, metacognitiva e afetiva. A transição inicia-se com o recebimento de um desses modelos. A tarefa vai para o estado "Aguardar Modelo Completo", onde verifica se os três modelos já foram inferidos. Se a verificação for válida, a tarefa é terminada e o objetivo de inferência dos modelos é atingido. Caso contrário, a tarefa aguarda as outras inferências e muda seu estado quando elas chegarem, repetindo assim o fluxo inicial.

As regras *AffectiveAction* e *MetacognitiveAction* possuem tarefas semelhantes. Os seus diagramas 3.14 e 3.15 basicamente mostram que elas recebem a mensagem do *workgroup* e realizam a sua inferência. Devido ao objetivo deste trabalho não ser estudar especificamente essas inferências, mas, criar a arquitetura do SMA Frank, foi previsto apenas os agentes e a etapa de inferência dos modelos.

A regra *CognitiveAction* possui um detalhamento maior, visto que será necessário a inferência explícita do estilo de aprendizagem do aluno. Para tanto, as regras possuem uma comunicação interna (representada pela linha tracejada azul) significando que provavelmente estarão no mesmo agente. De forma simples as tarefas da regra *CognitiveAction*

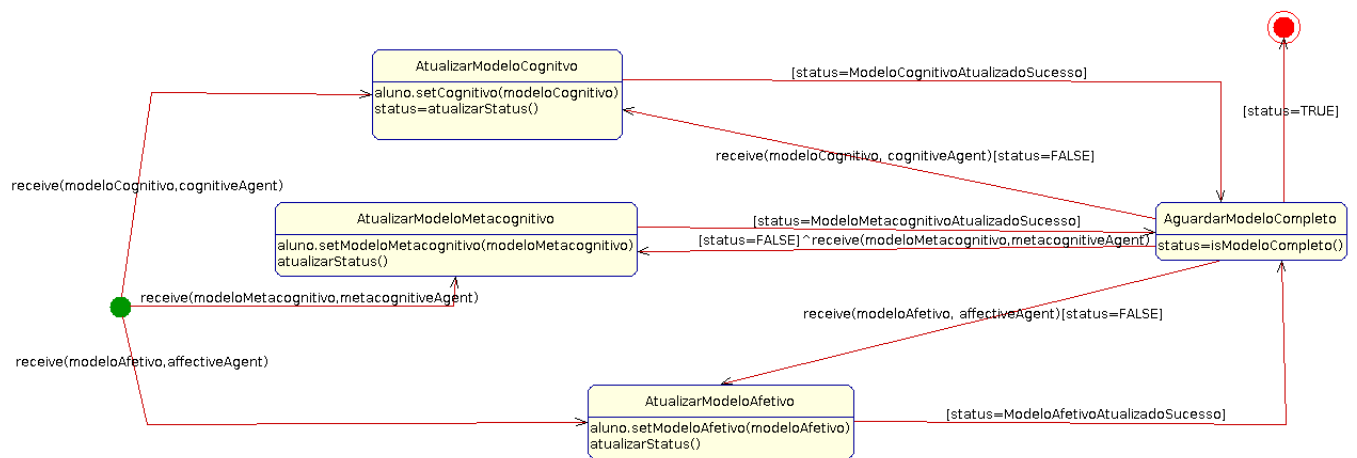


Figura 3.13: Detalhamento da tarefa "Atualizar Modelos" que pertence à regra *StudentWorkgroup*.

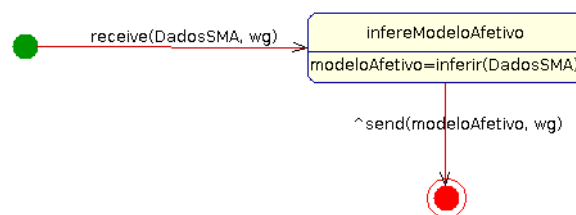


Figura 3.14: Detalhamento da tarefa "Inferir Modelo Afetivo" que pertence à regra *AffectiveAction*.

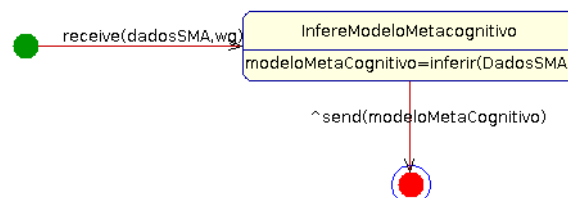


Figura 3.15: Detalhamento da tarefa "Inferir Modelo Metacognitivo" que pertence à regra *MetacognitiveAction*.

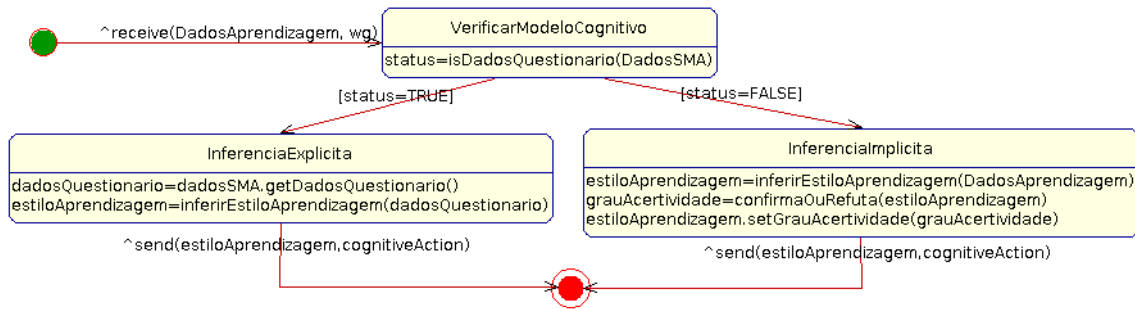


Figura 3.16: Detalhamento da tarefa "Analisar Estilo de Aprendizagem" que pertence à regra *LearningMethodAnalyzer*.

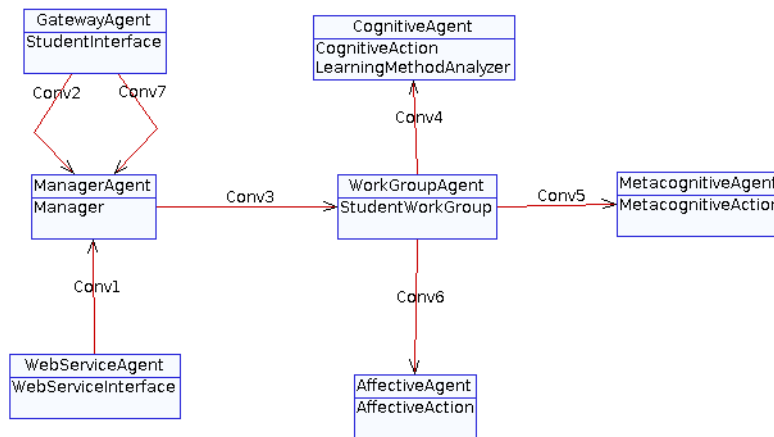


Figura 3.17: Diagrama de Classes do SMA Frank.

"Separar Dados de Aprendizagem" e "Atualizar Modelo" fazem o semelhante que já foi mostrado em outras tarefas. Portanto, o diagrama destas tarefas foi suprimido.

A regra *LearningMethodAnalyzer* possui a tarefa, onde seu diagrama 3.16 mostra o processo de análise do estilo de aprendizagem. Basicamente, o diagrama mostra que a inferência deve ser do tipo explícita caso os dados sejam o questionário. Caso contrário, a inferência deve ser implícita e pode variar de acordo com o ambiente virtual de aprendizagem.

3.2.2 Design

Após a conclusão da primeira etapa do MASE, é necessário definir as classes dos agentes, bem como as suas conversações. A arquitetura 3.17 do SMA Frank é composta pelos seguintes agentes:

- GatewayAgent - Possui a regra *StudentInterface*, responsável pela interface com a plataforma *web*, ou seja, com o estudante e o docente.
- WebServiceAgent - Possui a regra *WebServiceInterface*, é responsável pela interface com os ambientes virtuais de aprendizagem.

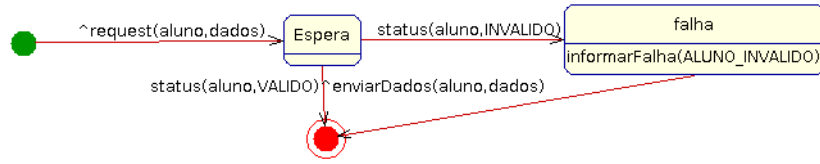


Figura 3.18: Detalhamento da Conversação 1 no lado do Iniciador.

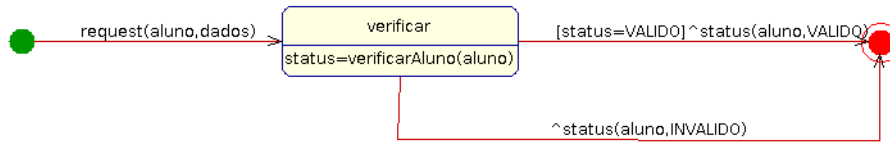


Figura 3.19: Detalhamento da Conversação 1 no lado do Respondedor.

- Manager - Possui a regra *Manager*, é responsável pela gerência da plataforma: Criação dos agentes, encaminhamento de mensagens.
- WorkgroupAgent - Possui a regra *StudentWorkgroup*, responsável pela gerência do grupo de trabalho de um determinado aluno.
- CognitiveAgent - Possui as regras *CognitiveAction*, *LearningStyleAction*. Responsável pela inferência do modelo cognitivo do aluno.
- AffectiveAgent - Possui a regra *AffectiveAction*. Responsável pela inferência do modelo afetivo do aluno.
- MetacognitiveAgent - Possui a regra *MetacognitiveAction*. Responsável pela inferência do modelo metacognitivo do aluno.

As conversações são definidas da seguinte forma:

- Conv1 - Conversação do *WebServiceAgent* com o *ManagerAgent*
- Conv2 - Conversação do *GatewayAgent* com o *ManagerAgent*
- Conv3 - Conversação do *ManagerAgent* com o *WorkgroupAgent*
- Conv4, Conv5 e Conv6 - Conversação do *WorkGroupAgent* com os agentes *CognitiveAgent*, *MetacognitiveAgent* e *AffectiveAgent*, respectivamente.

A primeira conversação (conv1) ocorre de forma simples. No lado do iniciador 3.18, ele solicita ao respondedor a verificação da existência do aluno na plataforma e entra no estado de espera. Caso a resposta seja *usuarioValido*, o iniciador irá enviar a mensagem *enviarDados* e encerrar a execução normalmente. Caso contrário, entrará no estado de falha, onde informará erro de execução. No lado respondedor da conversação 3.19, ela se inicia com o request do iniciador e o estado verificar, onde é verificado a existência do aluno. Por fim, é enviado uma resposta sobre a existência do aluno para o iniciador da conversação.

A segunda conversação (conv2) possui a mesma dinâmica da conversação 1, portanto seu diagrama será suprimido.

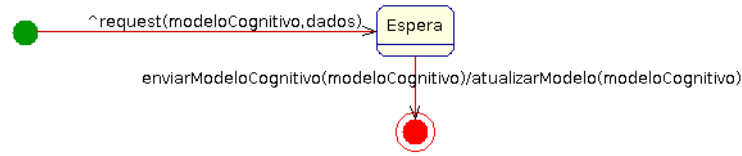


Figura 3.20: Detalhamento da Conversação 4 no lado iniciador.

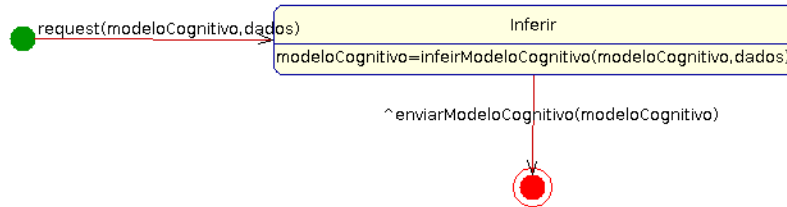


Figura 3.21: Detalhamento da Conversação 4 no lado iniciador.

A conversação 3 (conv3) é bastante simples. Não há nenhum estado de transição durante a conversação, pois é apenas um encaminhamento de dados para o grupo de trabalho do aluno.

As conversações 4, 5 e 6 (conv4 3.20, conv5 e conv6) possuem dinâmica bastante semelhante, sendo representado aqui somente a conversação 4. Do lado do iniciador, basicamente ele envia um request com o modelo a ser inferido, os dados a serem analisados e entra em estado de espera. Em seguida, quando receber a resposta, ele atualiza o modelo cognitivo.

O lado do receptor 3.21 recebe o request e infere o modelo do aluno. Por fim, apenas reenvia novamente ao iniciador da conversação.

A última conversação, conv7 3.22, é representa a conversação para criação do grupo de trabalho do aluno. No lado do iniciador, ele requisita a verificação da existência do aluno no ambiente. Caso não exista, ele envia a resposta de criação do grupo de trabalho para o receptor da conversação.

Do lado do receptor 3.23, ele recebe o request e faz a verificação da existência do aluno. Caso já exista, a conversação é encerrada. Caso contrário, ele entra no estado de espera e em seguida faz a criação do workgroup.

A arquitetura de deploy do trabalho deve ser dinâmica, visto que os agentes de trabalho devem ser instanciados dinamicamente. Funcionando em ambiente descentralizado, o SMA Frank precisa balancear a carga de uso entre os ambientes disponíveis. Dessa forma, o diagrama de deploy foi desnecessário.

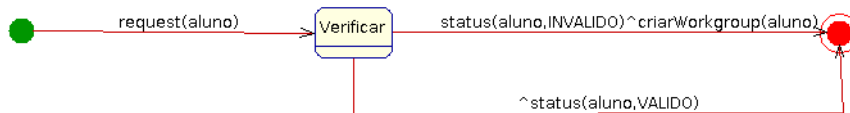


Figura 3.22: Detalhamento da Conversação 7 no lado iniciador.

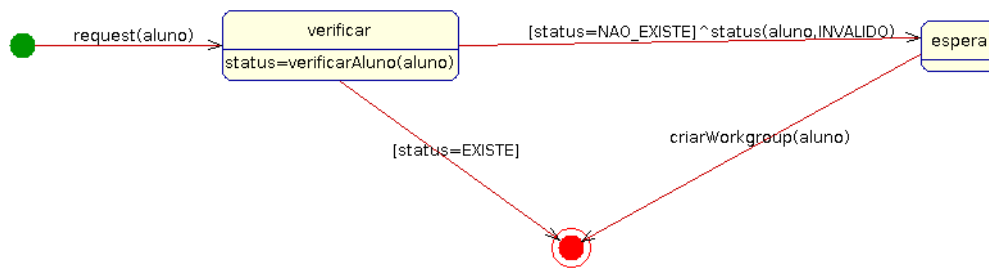


Figura 3.23: Detalhamento da Conversação 7 no lado receptor.

3.3 Arquitetura

A arquitetura do sistema foi separada em duas aplicações: A parte *web* chamada de *Frank Web* e a parte multiagente chamada de *SMA Frank*. Esta seção pretende relatar a arquitetura interna de cada parte, bem como as dificuldades encontradas na integração entre ambas.

A solução foi separada devido aos seguintes aspectos:

- Maior Distribuição - É possível replicar a parte *web* em vários nós de uma rede, possibilitando assim um maior ganho de performance da aplicação.
- Menor Complexidade - Os objetivos das aplicações estão separados, modularizando assim as responsabilidades de cada parte.
- Menor Dificuldade - A parte *web* é responsável pela interação com o usuário e com o banco de dados. Estes pontos seriam muito mais difíceis de implementar no framework JADE.

3.3.1 Frank Web

A parte *web* utiliza-se do framework JBoss Seam, conforme dito anteriormente, um framework que acelera o tempo de desenvolvimento de aplicações dinâmicas para a *web*. Para facilitar a manutenção do código e a reescrita de alguma parte dele, foi adotado o padrão de projetos Model View Controller (MVC). Esse padrão divide a arquitetura do sistema em três partes:

- Apresentação - Responsável pela apresentação dos dados para o usuário em uma página *web*.
- Controladora - Determina o componente a ser executado.
- Modelo - Representação das entidades, auxiliam na interação com o banco dados.

As ferramentas disponibilizadas pelo framework geraram todo o código para visualização, inserção, atualização e exclusão de dados. Além disso, geraram todas as páginas para que o usuário possa interagir com o sistema.

Após a geração do código inicial, foi necessário uma implementar algumas funcionalidades específicas da aplicação Frank-Web. A primeira delas foi implementar a ação de

autenticação conjunta com o SMA. Quando o aluno fizer login no sistema, a aplicação *web* envia uma mensagem ao SMA para a criação do grupo de trabalho.

Em seguida, foi necessário a implementação a tela de respostas do questionário feita pelo usuário.

Por fim, a implementação da tela de notificação ao docente do estilo de aprendizagem do aluno.

3.3.2 SMA Frank

O SMA Frank foi desenvolvida com o *middleware* JADE, devido à sua grande aceitação na comunidade de Sistemas Multiagentes e o extenso suporte da comunidade. A aplicação está dividida entre os agentes criados e os seus comportamentos (justificados na seção anterior).

A comunicação entre os agentes foi implementado utilizando-se de ontologias. O pacote de ontologia do JADE permite a criação de abstrações muito robustas, descartando neste primeiro momento a utilização de bibliotecas de terceiros.

No JADE, os agentes devem adicionar comportamentos, que são disparados quando o agente recebe uma mensagem. Os comportamentos são separados conforme o objetivo do agente.

Foram implementadas duas ontologias. A primeira, chamada de *FrankManagementOntology*, tem a função de gerenciamento da plataforma. Logo as ações de criação e destruição de agentes estarão presentes nela.

A ontologia *ModelInferOntology* possui a função de modelar todos os conceitos relacionados à inferência do modelo do aluno. Portanto, conceitos como estilo de aprendizagem, modelo cognitivo, afetivo e metacognitivo devem estar nesta ontologia. É importante ressaltar que os modelos não estão completos, sendo necessário que em trabalhos futuros sejam modeladas as ontologias.

3.3.3 Aspectos da Integração

A integração entre o *Frank Web* e o *SMA Frank* pareceu bastante complexa em uma análise inicial. Por não compartilhar a mesma Máquina Virtual Java (JVM), a dificuldade de integração pareceu alta.

O Jade porém possui uma forma nativa em que aplicações externas podem se conectar com o ambiente em execução. A classe *DynamicJadeGateway* registra um agente na plataforma, que atuará como uma ponte entre a aplicação e o ambiente de execução.

Esse agente funcionará de forma distinta dos outros agentes da plataforma. O agente não receberá mensagens da aplicação *web*, ao invés disso receberá objetos JAVA que representarão comandos. Para os diferentes comandos, o agente pode lançar diferentes mensagens na plataforma SMA. A aplicação *Frank SMA* implementa 6 comandos:

- AnswerCommand
- CreateAgentCommand
- DestroyAgentCommand
- DimensionCommand

- ProcessQuestionnaireCommand
- RequestCognitiveModelCommand

Neste capítulo, foi apresentado todos os aspectos da modelagem para a solução. Além disso, foi definido a arquitetura proposta, dividindo o sistema em duas aplicações distintas e dissertando a respeito da integração entre as duas aplicações. O próximo capítulo contém as experimentações acerca da solução proposta, bem como os resultados obtidos.

Capítulo 4

Experimentações

Esta seção apresenta o protótipo desenvolvido para a parte web da solução. Serão mostradas as telas de interação com o aluno e professor. Para tanto, foi definida uma metodologia 4.1 das experimentações que explicará como foi dividido os cenários de testes. O primeiro cenário 4.2 mostra o fluxo de execução desde o primeiro acesso do aluno à visualização do seu estilo de aprendizagem. O segundo cenário 4.3 mostra o fluxo de execução do docente que deseja verificar o estilo de aprendizagem de seus alunos.

Por fim, o capítulo de resultados 4.4 destaca todos os resultados esperados do cenários do aluno e dos objetivos do projeto.

4.1 Metodologia de Testes

A metodologia de testes foi dividida em dois cenários. O primeiro deles é o cenário onde o aluno faz o primeiro acesso ao sistema e deseja conhecer o seu estilo de aprendizagem. É seguido então um fluxo de execução para que este aluno possa realizar o questionário de estilos de aprendizagem. No fim do fluxo, espera-se que o aluno saiba o seu estilo de aprendizagem.

O segundo cenário aborda o acesso do docente ao sistema, desejando saber o estilo de aprendizagem dos alunos de sua turma. É demonstrado um fluxo de execução para que ele autentique-se no sistema e acesse os dados de sua turma. Ao final deste fluxo, é esperado que o docente saiba o estilo de aprendizagem de todos os alunos que realizaram o questionário. As duas próximas seções mostram os fluxos explicados.

4.2 Demonstração da Interface com Aluno

O fluxo definido para o aluno 4.8 consiste do seu primeiro acesso na plataforma, sua autenticação, responder seu questionário e visualizar o seu estilo de aprendizagem. Caso o seu login esteja incorreto, ele deve tentar novamente.

O primeiro passo do fluxo é o acesso à tela inicial 4.2 do Sistema, onde é mostrado uma mensagem de boas vindas.

O usuário então segue para a tela de autenticação e o Sistema exige o login e a senha de acesso 4.3.

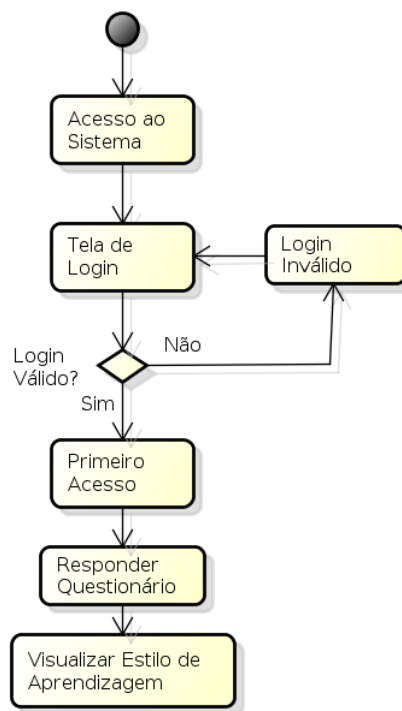


Figura 4.1: Fluxo de Execução para Experimentação do Perfil Aluno.

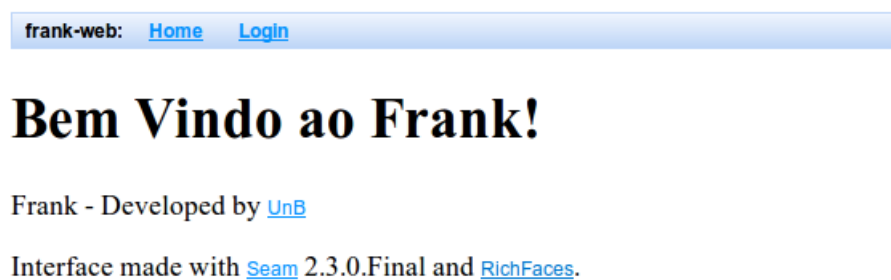


Figura 4.2: Tela Inicial do Sistema.

Figura 4.3: Tela de Autenticação do Sistema.

Caso o usuário informe o login inválido, o Sistema apresenta a tela de erro 4.4, solicitando novamente os dados para autenticação.

Após a autenticação, o usuário (agora autenticado com o perfil de aluno) realiza o primeiro acesso ao Sistema. Este detecta que o aluno não fez o questionário de estilos de aprendizagem e apresenta a tela de convite ao preenchimento do mesmo 4.5.

O usuário então entra na tela de preenchimento do questionário 4.6, preenche todas as respostas de acordo com suas características e em seguida seleciona o botão "Confirmar". O Sistema envia os dados para o SMA e o seu estilo de aprendizagem é inferido.

Por fim, o Sistema exibe o resultado final do processamento do SMA na tela de boas vindas 4.7. Dessa forma, o usuário verá sempre o seu estilo de aprendizagem atualizado ao acessar o Sistema.

4.3 Demonstração da Interface com Docente

O fluxo definido para o docente 4.8 consiste do acesso na plataforma, sua autenticação, visualização das turmas e visualizar o estilo de aprendizagem dos alunos. Caso o seu login esteja incorreto, ele deve tentar novamente.

É possível notar que o fluxo do docente é semelhante ao fluxo do aluno até a verificação de validade do login. O Sistema distingue os usuários neste momento e, no caso do Docente, renderiza uma tela diferente devido ao seu perfil. Ele mostra a tela de visualização de turmas às quais pertencem ao docente em questão.

O Docente seleciona a turma desejada e o Sistema apresenta a tela de visualização de estilos de aprendizagem dos alunos pertencentes àquela turma. É importante notar que nem todos os alunos possuem um estilo de aprendizagem inferido visto que, estes devem fazer acesso ao Sistema para a inferência do estilo ou, no futuro, podem possuir desvios no seu estilo de aprendizagem.

frank-web: [Home](#) [Login](#)

- Falha no Login

Login

Por favor, você deve autenticar-se

Login

Senha

Lembrar de mim? ☐

[Login](#)

Frank - Developed by [UnB](#)

Interface made with [Seam](#) 2.3.0.Final and [RichFaces](#).

Figura 4.4: Tela de Erro de Autenticação do Sistema.

frank-web: [Home](#) [Visualizar Dados](#) Autenticado como: aluno03

- Welcome, aluno03!

Bem Vindo ao Frank!

Olá Aluno 03!

Verificamos que o questionário não foi preenchido. [Preencher Questionário](#)

Frank - Developed by [UnB](#)

Interface made with [Seam](#) 2.3.0.Final and [RichFaces](#).

Figura 4.5: Tela de convite ao preenchimento do questionário de estilos de aprendizagem.

Titulo	Resposta
Prefiro discutir questões concretas e não perder tempo com idéias abstratas.	<input type="radio"/> Discordo Totalmente <input type="radio"/> Discordo <input type="radio"/> Concordo <input type="radio"/> Concordo Totalmente
Tendo a ser perfeccionista.	<input type="radio"/> Discordo Totalmente <input type="radio"/> Discordo <input type="radio"/> Concordo <input type="radio"/> Concordo Totalmente
Nas reuniões, apoio as idéias práticas e realistas, independentemente dos métodos o mais importante é que as coisas funcionem.	<input type="radio"/> Discordo Totalmente <input type="radio"/> Discordo <input type="radio"/> Concordo <input type="radio"/> Concordo Totalmente
Entusiasmo-me ter que fazer algo novo e diferente.	<input type="radio"/> Discordo Totalmente <input type="radio"/> Discordo <input type="radio"/> Concordo <input type="radio"/> Concordo Totalmente
Preocupo-me em interpretar, cuidadosamente a informação disponível antes de tirar uma conclusão.	<input type="radio"/> Discordo Totalmente <input type="radio"/> Discordo <input type="radio"/> Concordo <input type="radio"/> Concordo Totalmente
Incomoda-me que as pessoas não tomem as coisas a sério.	<input type="radio"/> Discordo Totalmente <input type="radio"/> Discordo <input type="radio"/> Concordo <input type="radio"/> Concordo Totalmente
É mais importante para mim que o professor apresente a matéria em etapas sequenciais claras.	<input type="radio"/> Discordo Totalmente <input type="radio"/> Discordo <input type="radio"/> Concordo <input type="radio"/> Concordo Totalmente
Quando escrevo um texto, eu prefiro trabalhar (pensar, escrever) diferentes partes do texto e ordená-los depois.	<input type="radio"/> Discordo Totalmente <input type="radio"/> Discordo <input type="radio"/> Concordo <input type="radio"/> Concordo Totalmente
Eu sou capaz de formular respostas originais e criativas, com frequência.	<input type="radio"/> Discordo Totalmente <input type="radio"/> Discordo <input type="radio"/> Concordo <input type="radio"/> Concordo Totalmente

[Confirmar](#)

Frank - Developed by [UnB](#)

Interface made with [Seam](#) 2.3.0.Final and [RichFaces](#).

Figura 4.6: Tela de preenchimento do questionário.

frank-web: [Home](#)
Visualizar Dados
Autenticado como: aluno03

Bem Vindo ao Frank!

Olá Aluno 03!

Estilo de Aprendizagem: Assimilador

Descrição: Aprendem por observação reflexiva e conceituação abstrata...

Frank - Developed by [UnB](#)

Interface made with [Seam](#) 2.3.0.Final and [RichFaces](#).

Figura 4.7: Tela de visualização do estilo de aprendizagem inferido.

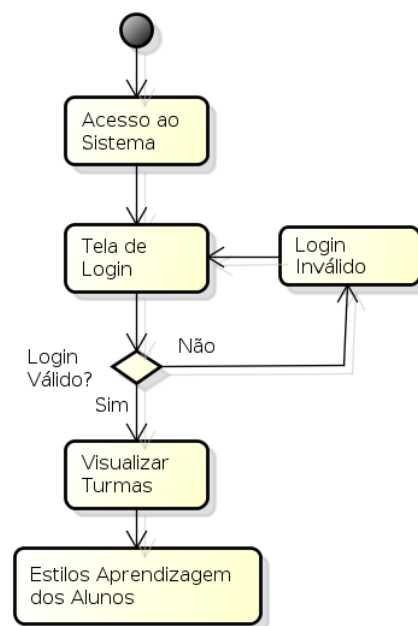


Figura 4.8: Fluxo de Execução para Experimentação do Perfil Docente.

frank-web: [Home](#) Visualizar Dados Autenticado como: professor

- Welcome, professor!

Bem Vindo ao Frank!

Olá Professor!

Você possui 1 turma neste momento

Data Inicio	Data Fim	Quantidade de Alunos	Ação
2/10/2013	3/12/2013	6	View

Frank - Developed by [UnB](#)

Interface made with [Seam](#) 2.3.0.Final and [RichFaces](#).


Figura 4.9: Tela inicial do usuário com o perfil de docente.

frank-web: [Home](#) Visualizar Dados Autenticado como: professor

Turma Details

Data de Início 2/10/13
Data de Fim 3/12/13

Edit Done

 **Docente**

Nome	Estilo de Aprendizagem	Action
João Paulo	Acomodador	View
Aluno 04		View
Aluno 05		View
Aluno 06		View
Aluno 03	Assimilador	View

Frank - Developed by [UnB](#)

Interface made with [Seam](#) 2.3.0.Final and [RichFaces](#).

Figura 4.10: Tela de visualização do estilo de aprendizagem por turma.

4.4 Resultados

Após a execução das experimentações, foi possível observar vários aspectos do sistema. O primeiro deles é a assistência do aluno por meio do grupo de trabalho específico para ele, com os agentes cognitivo, metacognitivo e afetivo. Com esse grupo de trabalho será possível a inferência do seu modelo multidimensional por meio de dados de Ambientes Virtuais de Aprendizagem.

Além disso, por meio de preenchimento de questionário e consequentemente a modelagem explícita, houve a determinação do seu estilo de aprendizagem. O agente cognitivo possui inteligência para interpretar as respostas do questionário e determinar o seu estilo de aprendizagem.

Por fim, através do cenário do docente, foi possível visualizar a notificação do estilo de aprendizagem dos seus alunos feito pela plataforma.

Neste capítulo, foi apresentado os fluxos de utilização do sistema por meio de dois cenários: Aluno e Docente. Em seguida, foi exposto os resultados obtidos por meio dos cenários e a forma de como eles ajudam a atingir os objetivos. O próximo capítulo contém a conclusão e os trabalhos futuros.

Capítulo 5

Conclusões e Trabalhos Futuros

Este capítulo analisa o trabalho realizado discutindo o alcance dos objetivos por meio da arquitetura e protótipo desenvolvidos. Em seguida, são indicados uma série de possíveis trabalhos futuros em cima da plataforma Frank.

A arquitetura proposta objetivou traçar os modelos cognitivo, afetivo e metacognitivo do aluno, criando insumos para auxiliar o docente na adoção da melhor estratégia didática de ensino.

Ao fim deste trabalho, foi possível definir e implementar a arquitetura geral do SMA Frank:

- Dois agentes de interfaces com o ambiente externo;
- Um agente para controle do ambiente do SMA;
- Um grupo de trabalho para cada aluno, composto por 4 agentes: O grupo de trabalho e os agentes cognitivo, metacognitivo e afetivo.

Além disso, a implementação do protótipo da plataforma web é capaz de interagir tanto com os alunos, quanto com os seus professores.

Para tanto, com os objetivos alcançados, conclui-se que este trabalho possui uma potencial importância para a sociedade como um todo, pois auxilia o complexo e longo processo de aprendizagem de alunos e possui capacidade para a melhoria significativa do trabalho do docente.

A arquitetura da solução está proposta, porém é necessário a continuação de diversos aspectos da aplicação. Devido a natureza deste trabalho, a possibilidade de trabalhos futuros é imensa.

Primeiramente, como trabalho futuro faz-se necessário modelar as ontologias que podem definir os universos metacognitivo e afetivo. Em seguida, definir também como podem ser feitas as inferências explícitas destes modelos, completando assim a modelagem multidimensional do aluno.

A partir da definição destes modelos, é possível estudar a forma de aprofundar algumas características dos agentes. Por exemplo, estudar e trabalhar mais a habilidade social dos agentes do grupo de trabalho, de forma que possam compartilhar conhecimentos prévios para a inferência de modelos de outros alunos. Ou então, a partir dos modelos afetivos e metacognitivo, como os agentes podem atingir mais rapidamente seu objetivo durante à inferência destes universos.

Um outro ponto importante é a necessidade de integrar a aplicação com vários Ambientes Virtuais de Aprendizagem. Primeiramente, faz-se necessário um levantamento inicial de possibilidades de Ambientes. Em seguida, deve-se determinar o domínio do conhecimento destes Ambientes os quais desejam-se inferir o modelo do estudante. Por fim, a partir dos dados obtidos com a interação do aluno com o AVA, implementar a forma de inferência nos agentes cognitivo, metacognitivo e afetivo.

A fim de validar a arquitetura proposta, realizar testes e simulações reais com alunos e docentes em um ambiente escolar é outro aspecto primordial. Para tanto, deve-se escolher e visitar ambientes escolares. Em seguida, justificar e determinar quais alunos participarão da validação. Por fim, é necessário validar o cenário do docente, verificando a forma como as informações disponibilizadas pelo sistema podem auxiliá-lo. Uma sugestão de projeto é o desenvolvimento de métodos e estratégias de aprendizagem [28] com base nos indicadores gerados, propondo atividades, conteúdos e ferramentas ao docente de acordo com o estilo de aprendizagem dos alunos.

Por fim, é desejável que a plataforma web possua um controle maior do ambiente SMA. Ou seja, uma administração web que controle toda a aplicação, sendo possível a criação e destruição remota de agentes, o balanceamento dos agentes entre as diversas máquinas disponibilizadas para aplicação, a visualização do estado atual de cada grupo de trabalho de cada aluno, dentre outras possibilidades.

Referências

- [1] About apache struts 1. Disponível em: <http://struts.apache.org/development/1.x/>. Acessado em: 18/02/2013. 38
- [2] About apache struts 2. Disponível em: <http://struts.apache.org/development/2.x/>. Acessado em: 18/02/2013. 38
- [3] agenttool iii homepage. Disponível em: <http://agenttool.cis.ksu.edu/>. Acessado em 18/02/2013. 28
- [4] Fipa communicative act library specification. Disponível em: <http://www.fipa.org/specs/fipa00037/index.html>. Acessado em: 01/02/2013. 18
- [5] Javaserer faces technology. Disponível em: <http://www.oracle.com/technetwork/java/javaee/javaserverfaces-139869.html>. Acessado em: 18/02/2013. 38
- [6] Jsr 299: Contexts and dependency injection for the java ee platform. Disponível em: <http://jcp.org/en/jsr/detail?id=299>. Acessado em: 18/02/2013. 39
- [7] The knowledge sharing effort. Disponível em: <http://www-ksl.stanford.edu/knowledge-sharing/papers/kse-overview.html>. Acessado em 01/02/2013. 15
- [8] Object management group. Disponível em: <http://www.omg.org/>. Acessado em: 05/01/2013. 29
- [9] The seam framework - next generation enterprise java development. Disponível em: <http://www.seamframework.org/>. Acessado em 10/02/2013. 39
- [10] D. Allen. *Seam in action*. Manning, 2009. x, 39
- [11] John L. Austin. *How to do things with words*. Harvard U.P., Cambridge, Mass., 1962. 15
- [12] Gilberto Bravos Bativa and Itana Stiubiener. Ferramenta de identificação de perfis de aprendizes-fipa. 1(1), 2011. 40
- [13] F. Bellifemine, G. Caire, T. Trucco, and G. Rimassa. Jade programmer's guide. *university of Parma*, pages 200–2003, 2002. 36
- [14] Fabio L. Bellifemine, Giovanni Caire, and Dominic Greenwood. *Developing Multi-Agent Systems with JADE (Wiley Series in Agent Technology)*. Wiley, Abril 2007. x, 35, 36

- [15] Piermarco Burrafato and Massimo Cossentino. Designing a multi-agent solution for a bookstore with the passi methodology. In *In Fourth International Bi-Conference Workshop on Agent-Oriented Information Systems (AOIS-2002*, 2002. 22
- [16] A. Cockburn. *Writing effective use cases*. Agile software development series. Addison-Wesley, 2001. 30, 32
- [17] Germana Menezes da Nóbrega. Frank: Re-utilização de abordagens e ferramentas da ie em um sistema multi-agente para identificação de estilos de aprendizagem. Outubro 2011. 42
- [18] E.H. Durfee, V.R. Lesser, and D.D. Corkill. Trends in cooperative distributed problem solving. *Knowledge and Data Engineering, IEEE Transactions on*, 1(1):63–83, 1989. 13
- [19] Richard M Felder and Linda K Silverman. Learning and teaching styles in engineering education. *Engineering education*, 78(7):674–681, 1988. 5
- [20] Martin Fowler. *UML Distilled: A Brief Guide to the Standard Object Modeling Language*. Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc., Boston, MA, USA, 3 edition, 2003. x, 29, 31
- [21] Michael Genesereth, Richard E. Fikes, Ronald Brachman, Thomas Gruber, Patrick Hayes, Reed Letsinger, Vladimir Lifschitz, Robert Macgregor, John McCarthy, Peter Norvig, and Ramesh Patil. Knowledge interchange format version 3.0 reference manual, 1992. 16, 18
- [22] Cláudio Geyer, Adriana Soares Pereira, Alessandra Rodrigues, Débora Nice Ferrari, José Emiliano, and Alex Francisco Oliveira. Semeai - sistema multiagente de ensino e aprendizagem na internet. In *Anais do Simpósio Brasileiro de Informática na Educação*, volume 1, pages 293–299, 2001. 40
- [23] Dirk Helbing and Stefano Balietti. How to do agent-based simulations in the future: From modeling social mechanisms to emergent phenomena and interactive systems design. Technical report, Tech. Rep. 11-06-024, Santa Fe Institute, NM, USA (June 2011), santa Fe Working Paper, 2011. 40
- [24] Peter Honey and Alan Mumford. *The learning styles helper's guide*. Peter Honey Learning, 2000. 7
- [25] Henry Kim and Mark Fox. Towards a data model for quality management web services: an ontology of measurement for enterprise modeling. In *Advanced Information Systems Engineering*, pages 230–244. Springer, 2006.
- [26] D.A. Kolb. *Experiential learning: experience as the source of learning and development*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1984. 5
- [27] C. LARMAN. *Utilizando UML e Padrões*. Bookman, 3 edition, 2008. x, 30, 32, 33, 35

- [28] Andreia Rosangela Mühlbeier and Patricia Mariotto Mozzaquatro. Estilos e estratégias de aprendizagem personalizadas a alunos das modalidades presenciais ea distância. *Revista Brasileira de Informática na Educação*, 20(1):132, 2012. **xii, 7, 8, 68**
- [29] A. Preece. Knowledge query and manipulation language: A review. *University of Aberdeen, Aberdeen, Tech. Rep*, 1997. **15, 16**
- [30] Humberto Rabelo, Wolgrand Cardoso Braga Jr, Leônidas Leão Borges, Ed Porto Bezerra, Edna Gusmão de Góes Brennand, Tatiana Aires Tavares, and Guido Lemos de Souza Filho. Identificação do perfil individual intelectual do educando no ambiente virtual de aprendizagem edulivre. In *Anais do Simpósio Brasileiro de Informática na Educação*, volume 1, 2010. **40**
- [31] Stuart Russel and Peter Novig. *Artificial Intelligence - A Modern Approach*. Number 1. Pearson Education, Upper Saddle River, New Jersey 07458, 1995. **9, 12, 20**
- [32] A.D. SCOTT, F. Mark, and H.S. CLINT. Multiagent systems engineering. *International Journal of Software Engineering and Knowledge Engineering*, 11(03):231–258, 2001. **22, 23, 24, 26**
- [33] J.R. Searle. *Speech Acts: An Essay in the Philosophy of Language*. Cam: [Verschiedene Aufl.]. Cambridge University Press, 1969. **15**
- [34] Carlos Vinícius Sarmiento Silva. Agentes de mineração e sua aplicação no domínio de auditoria governamental. Disponível em: <http://monografias.cic.unb.br/dspace/handle/123456789/318>, Acessado em: 18/11/2012., Abril 2011. **13**
- [35] Volmer Campos Soares and Vandro Roberto Vilardi Rissoli. Agente inteligente no apoio ao ensino-aprendizagem. In *Anais do Simpósio Brasileiro de Informática na Educação*, volume 1, 2011. **40**
- [36] J. Verschueren and J.O. Östman. *Key Notions for Pragmatics*. Handbook of Pragmatics Highlights. John Benjamins Publishing Company, 2009. **15**
- [37] Michael Wooldridge. *An Introduction to MultiAgent Systems*. Number 1. John Wiley and Sons Ltd, Krst Sussex PO10 1JD, England, 2004. **10, 11, 13, 15, 17, 18**
- [38] Michael Wooldridge, Nicholas R. Jennings, and David Kinny. The gaia methodology for agent-oriented analysis and design. *Journal of Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*, 3:285–312, 2000. **21**