UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
UNIVERSIDADE DO ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

ÍTHALO BRUNO GRIGÓRIO DE MOURA

Musert – Um Museu Virtual em 3D com Recomendação Personalizada de Conteúdo

MOSSORÓ – RN
2013

ÍTHALO BRUNO GRIGÓRIO DE MOURA

Musert – Um Museu Virtual em 3D com Recomendação Personalizada de Conteúdo

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação – associação ampla entre a Universidade do Estado do Rio Grande do Norte e a Universidade Federal Rural do Semi-Árido, para a obtenção do título de Mestre em Ciência da Computação.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Milton Mendes Neto – UFERSA.

MOSSORÓ – RN
2013

Ficha catalográfica preparada pelo setor de classificação e catalogação da Biblioteca "Orlando Teixeira" da UFERSA

Bibliotecária: Vanessa de Oliveira Pessoa

CRB15/453

M929m Moura, Íthalo Bruno Grigório de.

Musert – um museu virtual em 3D com recomendação personalizada de conteúdo. / Íthalo Bruno Grigório de Moura

. -- Mossoró, 2013.

107 f. : il.

Dissertação (Mestrado em Ciências da Computação) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido.
Orientador: D.Sc. Francisco Milton Mendes Neto.

1. Museu virtual. 2. Recomendação personalizada de conteúdo. 3. Sistemas multiagente. I.Título.

CDD: 004.678

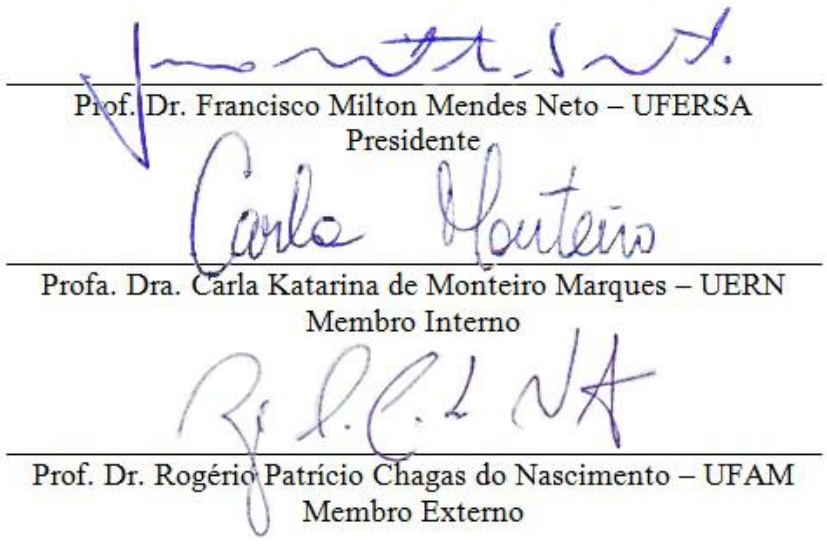
ÍTHALO BRUNO GRIGÓRIO DE MOURA

Musert – Um Museu Virtual em 3D com Recomendação Personalizada de Conteúdo

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação para a obtenção do título de Mestre em Ciência da Computação.

APROVADA EM: 28 /02/2013.

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Francisco Milton Mendes Neto – UFERSA
Presidente

Profa. Dra. Carla Katarina de Monteiro Marques – UERN
Membro Interno

Prof. Dr. Rogério Patrício Chagas do Nascimento – UFAM
Membro Externo

Dedico este trabalho aos meus amados pais, Irapoan Moura e Luíza Moura, ao meu fiel irmão, Irapoan Moura Júnior, à Regimara Maranhão e ao meu orientador Francisco Milton Mendes Neto. Todos me fortaleceram e me ajudaram para que fosse possível concluir esta jornada em minha vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, que me deu oportunidades em minha vida para que fosse possível chegar ao ponto que estou hoje. Agradeço aos meus pais, Irapoan Soares de Moura e Luíza Maria Grigório de Moura, que com muito custo, esforço e coragem me tornaram a pessoa que sou hoje. Devo tudo a eles.

Ao meu irmão, Irapoan Soares de Moura Júnior, por ser companheiro e amigo e por sempre ter me ajudado, com palavras de conforto, apoio financeiro e pelo seu amor fraternal em todos meus momentos difíceis.

À Regimara Maria Soares Maranhão e seus pais, que estiveram sempre me dando forças, acompanhando-me neste momento de grande importância na minha vida. Agradeço pela amizade, companheirismo e pelo amor e carinho incondicionais nos momentos que mais precisei.

A toda minha família e aos meus amigos que conheci em Mossoró, em especial Fábio Abrantes Diniz, João Phellipe de Freitas Pinto e Thiago Reis da Silva, que me divertiram e ajudaram além de saberem criticar-me quando necessário. Agradeço também ao meu amigo Paulo Sérgio Maia de Sousa pela importante ajuda no desenvolvimento deste trabalho.

Ao professor João de Deus Lima, que me ajudou e me apoiou nos momentos mais difíceis que passei para alcançar esta vitória. Agradeço muito pela sua atenção, palavras de conforto e amizade, além de ter sido meu orientador durante parte do curso.

Ao meu orientador, Francisco Milton Mendes Neto, pela sua paciência e confiança na minha capacidade e habilidades de desenvolver este trabalho. Agradeço muito pela sua cobrança, atenção, sensatez, leitura cuidadosa e conselhos que fizeram este trabalho melhor. Agradeço também pelas palavras amigas e grandiosa ajuda nos momentos de maior dificuldade. Devido ao apoio constante, se tornou um grande amigo e pessoa merecedora da minha admiração.

A todos os professores do programa de pós-graduação de ciência da computação da UERN/UFERSA que contribuíram direta ou indiretamente para realização deste trabalho de mestrado. Espero que todos continuem assim, pois acredito que esse programa vai ser um dos melhores do Estado do Rio Grande do Norte.

Obrigado a todos,

Íthalo Bruno Grigório de Moura.

“A nossa maior glória não reside no fato de nunca cairmos, mas sim em levantarmo-nos sempre depois de cada queda” (Confúcio).

RESUMO

A busca por alternativas para suprir a necessidade de preservação do patrimônio histórico é cada vez maior, considerando que este patrimônio é fundamental para a educação e contribui significativamente na definição da identidade cultural. Entretanto, apesar de sua relevância, uma série de artefatos de valor histórico imensurável tem sido perdida ao longo do tempo devido à deficiência de recursos e técnicas de preservação. Uma alternativa para evitar este tipo de perda é a utilização de técnicas de digitalização em três dimensões em projetos com grande apelo visual. Devido à riqueza de detalhes proporcionadas pelas técnicas de digitalização em 3D e a grande carga informacional que ambientes virtuais podem oferecer, em muitas situações os usuários são incapazes de identificar suas reais necessidades de aquisição de informação na presença de uma grande quantidade de dados que lhes são disponibilizados. Visando superar esses desafios, este trabalho apresenta um museu virtual, denominado Musert, que mostra como é possível recomendar conteúdo de forma personalizada, levando em consideração as características do perfil de cada visitante.

Palavras-Chave: Museu virtual. Recomendação Personalizada de Conteúdo. Sistemas Multiagente.

ABSTRACT

Search for alternatives to meet the need for historic preservation is growing, considering that this heritage is fundamental to education and contribute significantly in defining the cultural identity. However, despite its relevance, a series of artifacts of immeasurable historical value has been lost over time due to lack of resources and preservation techniques. An alternative to avoid this type of loss is the use of digital technologies in three dimensions on projects with great visual appeal. Due to the richness of detail afforded by 3D scanning techniques and great informational load that virtual environments can offer, and large load informational that virtual environments can offer, in many situations the users are unable to identify their real needs for information acquisition in the presence of a large quantity of data that are at your disposal. Aiming at overcome these challenges, this paper presents a virtual museum, called Musert, which shows how is possible recommend content in a personalized manner, taking into account the characteristics of the profile of each visitor.

Keywords: Virtual Museum. Content Recommendation Custom. Multiagent Systems.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Imagen do museu virtual desenvolvido neste trabalho 18
Figura 2 – Visão geral de um agente 20
Figura 3 – Arquitetura de um sistema multiagente 24
Figura 4 – Modelos que determinam as características de um agente.....30
Figura 5 – Arquitetura da MAS-CommonKADS+ 32
Figura 6 – Modelo de referência FIPA para o gerenciamento de agentes 34
Figura 7 – Arquitetura da Web Semântica 37
Figura 8 – Relacinamento entre dados, informação, conhecimento e inteligência 41
Figura 9 – Componentes de uma ontologia 43
Figura 10 – Ciclo das áreas da computação gráfica 46
Figura 11 – Esquema para a construção do perfil do usuário 50
Figura 12 – Arquitetura para obtenção e manutenção de perfil do usuário.....54
Figura 13 – Filtragem baseada em conteúdo 55
Figura 14 – Filtragem colaborativa 56
Figura 15 – Modelagem utilizando a ferramenta Blender 65
Figura 16 – Arquitetura do framework JADE 67
Figura 17 – Peça do museu em etapa de modelagem 70
Figura 18 – Interação entre visitante e museu.....71
Figura 19 – Arquitetur geral do Musert 71
Figura 20 – Modelo de tarefas 76
Figura 21 – Modelo de papéis 76
Figura 22 – Modelo de organização 77
Figura 23 – Modelo de interação entre agentes que compõem o Musert.....78
Figura 24 – Trecho de código fonte do UAg que recupera informações do visitante 80
Figura 25 – Trecho de código fonte do RAg que verifica o nível do visitante.....82
Figura 26 – Cadastro de serviços no Agente DF 84
Figura 27 – Comunicação entre agentes através do framework JADE.....84

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Metodologia para a modelagem de agentes 27
Tabela 2 – Descrição da arquitetura da Web Semântica 38
Figura 3 – Modelo textual do Agente Usuário - UAg 79
Figura 4 – Modelo textual do Agente de Navegação - NAg..... 81
Figura 5 – Modelo textual do Agente de Recomendação - RAg.....82
Figura 6 – Modelo textual do Agente DF 83

LISTA DE SIGLAS

3D – Terceira Dimensão

ACC – *Agent Communication Channel*

ACL – *Agent Communication Language*

AICP – Agentes Inteligentes com Características Pedagógicas

AID – *Agent Identifier*

AML – *Agente Modeling Language*

AMS – *Agent Management System*

AP – *Agent Platform*

API – *Application Programming Interfaces*

AV – Ambiente Virtual

AVA – Ambiente Virtual de Aprendizagem

CG – *Computação Gráfica*

DF – *Directory Facilitator*

E-learning – *Eletronic Learning*

ESOA – Engenharia de Software Orientada a Agentes

HTML – *HyperText Markup Language*

JADE – *Java Agent Development Framework*

jME – *jMonkey Engine*

MSC – *Message Sequence Charts*

MTS – *Message Transport Service*

MTP – *Message Transport Protocol*

NAg – *Navigation Agent*

OWL – *Web Ontology Language*

PBL – *Problem-Based Learning*

POA – Programação Orientada a Agentes

RAg – *Recommender Agent*

RDF – *Resource Description Framework*

RUP – *Rational Unified Process*

RV – Realidade Virtual

SDL – *Specification and Descripition Language*

SMA – Sistema multiagentes

UAg – *User Agent*

UERN – Universidade do Estado do Rio Grande do Norte

UFERSA – Universidade Federal Rural do Semi-Árido

URI – *Unique Resource Identifier*

UML – *Unified Modeling Language*.

URL – *Uniform Resource Locator*

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 8

1.1. PROBLEMÁTICA 9

1.2. OBJETIVOS 11

1.2.1. Objetivos Gerais 11

1.2.2. Objetivos Específicos 12

1.3. METODOLOGIA 12

1.1. ORGANIZAÇÃO DO DOCUMENTO 13

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA 14

2.1. ENSINO E APRENDIZAGEM ATRAVÉS DE MEIOS ELETRÔNICOS 14

2.1.1. Ambientes Virtuais de Aprendizagem 15

2.1.2. Ambientes Virtuais de Aprendizagem em 3D 16

2.1.3. Museus Virtuais em 3D 17

2.2. AGENTES DE SOFTWARE 19

2.2.1. Definições de Agentes de Software 19

2.2.2. Tipos de Agentes 21

2.2.3. Agentes de Software com Características Pedagógicas 22

2.2.4. Sistemas Multiagente 23

2.2.5. Organização dos Sistemas Multiagente 25

2.2.6. Motivação para o Uso de Sistemas Multiagente 25

2.3. ENGENHARIA DE SOFTWARE ORIENTADA À AGENTES 26

2.3.1. Metodologias de Modelagem de SistemasMutltiagente 27

2.3.2. Metodologias MAS-CommonKADS 29

2.3.3. Metodologias MAS-CommonKADS+ 31

2.3.4. Comunicação e Gerenciamento de Agentes 33

2.4. WEB SEMÂNTICA 36

2.4.1. Ontologias 40

2.4.2. Componentes e Benfícios de uma Ontologia 43

2.4.3. Uso de Ontologias em Ambientes Virtuais de Aprendizagem 44

2.5. COMPUTAÇÃO GRÁFICA E REALIDADE VIRTUAL 45
2.5.1. Realidade Virtual e Aumentada 46
2.5.2. Modelagem e Renderização 47
2.5.3. Iluminação e Textura 47
2.5.4. Sensação de Imerção e Realismo 48
2.6. CRIAÇÃO E UTILIZAÇÃO DE PERFIS 49
2.6.1. Coletade Informações 50
2.6.2. Perfil do Usuário 52
2.6.3. Criação e Manutenção do Perfil do Usuário 52
2.6.4. Sistemas de Recomendação 55
3. TRABALHOS RELACIONADOS 57
3.1. AMBIENTES VIRTUAIS DE APRENDIZAGEM 57
3.2. AGENTES DE SOFTWARE E SISTEMAS MULTIAGENTE 58
3.3. WEB SEMÂNTICA 59
3.4. COMPUTAÇÃO GRÁFICA E REALIDADE VIRTUAL 60
3.5. CRIAÇÃO E UTILIZAÇÃO DE PERFIS 61
4. MUSERT 63
4.1. FERRAMENTAS 63
4.1.1. Ferramentas Utilizadas na Modelagem 3D 63
4.1.2. JADE 66
4.1.3. Protégé 68
4.1.4. StarUml 69
4.2. MUSERT 69
4.3. ARQUITETURA 71
4.3.1. Mecanismo de Recomendação 72
4.4. SISTEMA MULTIAGENTE 74
4.4.1. Modelagem do SMA 75
4.4.2. Modelo do Agente Usuário 79
4.4.3. Modelo do Agente de Navegação 80
4.4.4. Modelo do Agente de Recomendação 81
4.4.5. Modelo do Agente DF 83
4.5. TRABALHOS PUBLICADOS 85

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS 86

Referências 88

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o aumento da disponibilidade de computadores e a facilidade de acesso à Internet, têm influenciado a utilização de recursos tecnológicos com o propósito de promover educação e difundir informação de maneira geral. Seguindo este caminho, é cada vez mais comum a utilização de ambientes virtuais com objetivos educacionais, cuja principal vantagem de utilização é a participação remota de alunos de todas as idades e de diferentes regiões, fornecendo um acesso mais fácil a conteúdos educacionais que contemplam diversos níveis de conhecimento. Obviamente, o comportamento do aluno será diferente em comparação com o ensino realizado da forma presencial tradicional. Mas, em contrapartida, é possível que os alunos participem de forma mais ativa do processo educacional, aprendendo com as atividades realizadas e personalizando o material de estudo de acordo com suas preferências (JALIGAMA; LIAROKAPIS, 2011). De acordo com pesquisas recentes, a introdução de Ambientes Virtuais de Aprendizagem (AVA) no ensino, tem o potencial de trazer um resultado positivo a partir da mudança na experiência de aprendizagem, pois a forma de ensino ofertada a partir de ambientes virtuais incentiva o aluno a buscar o conhecimento de uma forma que maximize seu aprendizado, ou seja, o aluno é incentivado a buscar por respostas de forma independente e ser, portanto, proativo (LIAROKAPIS; ANDERSON, 2010).

Desta forma, a utilização de ambientes virtuais tornou-se muito popular ao longo dos últimos anos. Estudos recentes indicam que já existe um grande número de AVAs disponíveis e muitos outros em desenvolvimento. A utilização de AVAs está crescendo rapidamente e têm tido grande aceitação pelas instituições de ensino com o objetivo de melhorar ainda mais a qualidade da educação ofertada (JALIGAMA; LIAROKAPIS, 2011). A partir da aplicação de tecnologias de Realidade Virtual (RV), é possível proporcionar aos estudantes a possibilidade de navegar em diferentes ambientes, proporcionando a sensação real de estar no próprio ambiente, além de possibilitar a interação com aplicações e funcionalidades oferecidas, funcionando como uma ferramenta educacional eficiente, pois disponibiliza informações aos usuários de forma simples e de fácil compreensão, além de possibilitar a visita a ambientes distantes fisicamente do local de acesso do usuário (JUN; BIN, 2011).

Em consequência da facilidade de acesso aos recursos tecnológicos e à crescente utilização destes recursos para a promoção da educação e difusão cultural, museus virtuais

têm sido cada vez mais utilizados para facilitar o acesso a recursos históricos e culturais (MOURA; MENDES NETO; SOUSA, 2012). Um museu virtual, que é conceituado como um sistema complexo e que oferece diversas possibilidades na aquisição de conhecimento através da apresentação de uma coleção de artefatos eletrônicos e recursos informativos disponibilizados de forma digital, tem mostrado ser eficaz em uma série de projetos de ensino que estão sendo utilizados para facilitar o processo educacional de maneira diferente da convencional (CHENGWEI *et al.*, 2011).

A busca por alternativas para suprir a necessidade de preservação do patrimônio histórico e cultural de uma região é cada vez maior, visto que este patrimônio é fundamental para a educação e contribui significativamente na definição da identidade cultural. Entretanto, apesar desta relevância, uma série de artefatos e documentos de inestimável valor histórico tem sido perdida ao longo do tempo devido à deficiência de recursos e técnicas que são utilizadas na sua preservação. Isso se deve, principalmente, à deficiência que existe na evolução destes recursos, pois não são eficientes ao ponto de evitarem tais perdas. Isto ocasiona prejuízos imensuráveis, provocados por diversos fatores, como fatores climáticos, manuseio e armazenamento inadequados, além, é claro, da própria idade dos artefatos (MOURA *et al.*, 2012a). Uma das alternativas para este problema é a utilização de técnicas de digitalização em terceira dimensão (3D) em projetos com grande apelo visual.

Com base nesta realidade, técnicas de digitalização 3D estão cada vez mais sendo utilizadas em projetos com objetivos pedagógicos, como museus virtuais. Isso se deve, principalmente, a sensação de imersão e riqueza de detalhes que estes ambientes podem promover (ZHU; XIANG; SHENGHONG, 2007). A digitalização em 3D pode ser utilizada para preservar bens do patrimônio histórico em seus mínimos detalhes, ou seja, obedecendo a formas, escala, texturas e cores semelhantes às originais, permitindo, portanto, a construção de réplicas realísticas, mesmo quando o original não existe mais, bem como a criação de coleções virtuais acessíveis através da Internet (SOARES *et al.*, 2009).

1.1 PROBLEMÁTICA

Devido à riqueza de detalhes que as técnicas de digitalização em 3D proporcionam e da grande carga informacional que ambientes virtuais podem oferecer, em muitas situações os usuários são incapazes de identificar as suas reais necessidades de aquisição de informação na presença de uma grande quantidade de dados que lhes são disponibilizados (ZEB e FASLI,

2011). Sabendo disso, a atividade educacional dos alunos vem sendo prejudicada, pois ao mesmo tempo em que as novas tecnologias oferecem, se usadas em um caminho certo, muitas possibilidades para o projeto eficiente de cenários de aprendizagem, também podem oferecer oportunidades que acabam prejudicando as atividades educacionais. Por essa razão, novas abordagens são necessárias para obter soluções adequadas de aprendizagem que são capazes de gerar experiências de aprendizagem eficientes, personalizadas e flexíveis. Deste ponto de vista, metodologias de inteligência computacional podem ser exploradas para fornecerem ferramentas eficazes e inteligentes capazes de analisar as necessidades e preferências do aluno e, consequentemente, personalizar a sua aquisição de conhecimento (ACAMPORA, *et al.*, 2011). Na tentativa de resolver este problema, uma das formas encontradas é o armazenamento do perfil dos usuários e das atividades realizadas nos ambientes virtuais, que pode ser realizado com o uso de ontologias, e atualização dinâmica destas informações, que pode ser feita por agentes inteligentes. A utilização de ontologias como meio de armazenamento de informações se torna interessante devido à sua forma de representação do conhecimento, pois a utilização de ontologias permite a comunicação eficiente entre pessoas, agentes de software e sistemas e promove muitas outras vantagens em relação aos mecanismos convencionais de armazenamento de dados (DUNG; FLOREA, 2011; BHATIA; JAIN, 2011).

Há esforços consideráveis no emprego de agentes inteligentes em ambientes tradicionais de aprendizagem (SOLIMAN; GUETL, 2010). Mas o bom desempenho dos agentes que compõem o ambiente de aprendizagem depende de um mecanismo para a representação do conhecimento. Uma ontologia pode ser utilizada em AVAs para a representação de conceitos e modelos inerentes a estes ambientes. Assim, a utilização de ontologias é imprescindível para apresentar uma arquitetura de gerenciamento de conhecimento integrada. Uma ontologia é utilizada para descrever o conceito explícito dos dados e informações. Ela fornece um vocabulário global compartilhado para uma especificação de determinado domínio. Ontologias tornaram-se, ao logo dos anos, uma tecnologia eficaz no desenvolvimento de sistema de informação e estão sendo bastante utilizadas no desenvolvimento de AVAs (ZHAO; ZHANG, 2009). Aliado a utilização de ontologias, agentes de software têm sido utilizados como tutores cognitivos utilizando modelos cognitivos dos alunos e proporcionando um suporte para a aprendizagem personalizada (SOLIMAN; GUETL, 2011).

Com isso, a geração atual de AVAs deve apoiar as novas tendências de aprendizagem eletrônica por meio de modelos adequados e processos dinâmicos e inteligentes para criar experiências satisfatórias de educação, ou seja, uma sequencia estruturada de atividades de aprendizagem composta por conteúdos e serviços capazes de facilitar a aquisição de um conjunto de competências sobre um domínio específico adaptado às expectativas e objetivos do aluno no ambiente (ACAMPORA, *et al.*, 2011).

1.2 OBJETIVOS

O semiárido brasileiro é celeiro de uma riqueza cultural pouco difundida e pouco valorizada pelo restante do País. Riqueza esta, expressada em várias áreas, como na arquitetura, arte, culinária, literatura, medicina e religiosidade. Essa identidade cultural é única e peculiar, mas corre o risco de se perder da memória das gerações futuras, caso não sejam tomadas iniciativas para preservá-la, e uma das alternativas encontradas é a criação de novos museus. Com isto, o Museu do Sertão, localizado na cidade de Mossoró no estado do Rio Grande do Norte, é considerado o único do gênero em todo país. No entanto, sua localização limita o acesso à sociedade como um todo. Portanto, este trabalho tem como objetivo permitir que pessoas de todo o mundo, mas, principalmente, estudantes de escolas públicas e privadas do Brasil possam conhecer melhor a arte e a cultura da chamada Civilização da Seca (MOURA *et al*., 2012a; MOURA *et al.*, 2012b).

1.2.1 Objetivos Gerais

Diante da problemática apresentada, o objetivo geral deste trabalho é criar um AVA, mais especificamente um museu virtual em 3D, chamado de Musert. Este museu tem a proposta de apresentar e descrever, através do ambiente virtual, várias peças características do semiárido brasileiro. Além disso, propõe a criação de um mecanismo de recomendação para que a descrição das peças seja feita de maneira conveniente de acordo o interesse de cada usuário a partir da utilização e avaliação de seu perfil. Para isso, utilizará tecnologias como ontologias, para a representação das características de cada usuário e de cada peça do museu, e agentes de software, na realização de inferência a partir do perfil de cada usuário, para que a descrição e a recomendação das descrições das peças, durante a visitação virtual, sejam feitas de acordo com o perfil de cada usuário, proporcionando um melhor aproveitamento ao visitar o museu.

1.2.2 Objetivos Específicos

Para atingir o objetivo principal desse trabalho, foram adotados os seguintes procedimentos:

- Desenvolvimento e modelagem do ambiente virtual que representará o museu;
- Modelagem das peças que serão utilizadas no museu virtual;
- Criação de agentes inteligentes e ontologias para auxiliar no sucesso do objetivo geral proposto acima, ou seja, recomendar conteúdos diferentes de acordo com o perfil de cada usuário;
- Utilização de métodos de representação do perfil do usuário para que a visitação e a recomendação das peças sejam feitas da melhor forma a se adaptarem ao perfil informado pelo usuário e ao perfil capturado dinamicamente;
- Utilização de tecnologias de modelagem e representação virtual, como o Blender (BLENDER, 2013), que fornece um amplo espectro de funcionalidades para modelagem, texturização e iluminação, características essas que serão amplamente utilizadas na modelagem das peças a serem visitadas no Musert;
- Implementação de um software de código aberto que possibilite a visitação no museu virtual e a recomendação da descrição das peças de acordo como perfil do visitante;
- Análise dos resultados obtidos durante a implementação do museu na etapa de testes;
- Sugestão de propostas para evolução e continuidade deste trabalho, sendo este um fator fundamental para a criação de um sistema mais elaborado para a recomendação de conteúdo do museu virtual.

1.3 METODOLOGIA

Para encontrar a solução da problemática envolvida neste projeto, foram adotadas várias ações práticas, que ao final, a partir da junção dos resultados alcançados, viabilizaram alcançar o resultado esperado.

Assim, diante do conhecimento da problemática, a atividade inicial realizada foi o levantamento bibliográfico para identificar o estado atual dos trabalhos desenvolvidos na área. Após o levantamento bibliográfico, foi realizado um levantamento específico das

metodologias e tecnologias que poderiam ser utilizadas no desenvolvimento do museu proposto. A partir da definição das possíveis tecnologias que poderiam ser utilizadas, teve início a modelagem do museu juntamente com as peças. Em seguida, foram desenvolvidos os mecanismos responsáveis pela recomendação personalizada de conteúdo no museu, ou seja, foi iniciado o desenvolvimento do mecanismo que utiliza agentes de software, ontologias e o perfil do usuário. Assim, devido à quantidade de técnicas e tecnologias envolvidas, o desenvolvimento aconteceu de forma sequencial e modular, fazendo com que os resultados fossem visualizados de maneira mais clara e objetiva.

Por outro lado, a partir da análise dos trabalhos relacionados, foi possível perceber que, embora exista uma grande quantidade de museus virtuais, não há uma preocupação, e consequentemente pesquisas significativas, para solucionar o problema da recomendação e disponibilização personalizada de conteúdo em ambientes virtuais de aprendizagem em 3D. Além disso, foi possível constatar que a quantidade de museus temáticos desenvolvidos é bastante reduzida, e esta deficiência deve ser superada tendo em vista que os museus virtuais ajudam significativamente na difusão da identidade cultural de uma região.

1.4 ORGANIZAÇÃO DO DOCUMENTO

Esta dissertação está organizada da seguinte forma: o Capítulo 2 apresenta a fundamentação teórica necessária para compreender a proposta de trabalho. Desta forma, são apresentados conceitos relativas aos conceito de Ensino e Aprendizagem Através de Meio Eletrônicos, Agentes de Software, Engenharia de Software Orientada à Agentes, Web Semântica, Computação Gráfica e Realidade Virtual, e por último, apresenta conceitos relacionados à criação e utilização de perfis. O Capítulo 3 apresenta os trabalhos relacionados ao projeto e consequentemente aos conceitos abordados no Capítulo 2. O Capítulo 7 apresenta a descrição da proposta deste trabalho e as atividades realizadas para sua concretização além dos trabalhos publicados, que são resultantes da própria pesquisa, e os trabalhos futuros que podem ser realizados.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo apresenta os conceitos e aspectos relacionados ao sistema proposto. Desta forma, a Seção 2.1 apresenta a definição sobre Ambientes Virtuais de Aprendizagem e suas principais características. A Seção 2.2 traz as definições sobre os agentes de software e sistemas multiagente. A Seção 2.3 apresenta os aspectos relacionados com a Engenharia de Software Orientada a Agentes, detalhando metodologias de modelagem de sistemas multiagente e a comunicação e gerenciamento de agentes. A Seção 2.4 detalha os conceitos referentes à Web Semântica, abordando os conceitos de ontologias e suas características de utilização em Ambientes Virtuais de Aprendizagem. A Seção 2.5 aborda os conceitos relacionados com a Computação Gráfica e Realidade Virtual, descrevendo suas principais características e apresentando conceitos importantes de técnicas utilizadas na modelagem do museu desenvolvido neste projeto. E, por fim, a Seção 2.6 aborda os conceitos relacionado a construção e utilização de perfis e como podem ser utilizados em sistemas de recomendação.

2.1 ENSINO E APRENDIZAGEM ATRAVÉS DE MEIOS ELETRÔNICOS

Com a proliferação de serviços e de recursos computacionais, é cada vez mais comum a utilização de diversas tecnologias para disseminação da educação, fazendo com que a prática de ensino e aprendizagem a partir de meios eletrônicos, seja cada vez mais comum (SOLIMAN; GUETL, 2011). Contudo, esta prática só se tornou viável devido à crescente e exponencial evolução tecnológica vivenciada atualmente, mais especificamente nos avanços referentes às redes de comunicação, à capacidade de processamento dos computadores pessoais e ao avanço das tecnologias multimídia em geral, além de outros fatores que contribuíram para a criação do cenário atual, onde os benefícios da aprendizagem utilizando dispositivos eletrônicos (*e-learning*) tornaram-se mais evidentes levando ao aparecimento de novos paradigmas de aprendizagem (BIAN, 2009).

Uma das definições para esta modalidade de ensino, o *e-learning*, mostra que se trata de um processo de ensino oferecido através do uso de dispositivos eletrônicos possibilitando a aquisição individual de conhecimento pelo aluno. Desta forma, o *e-learning* engloba todas as formas de ensino e aprendizagem eletronicamente suportados (BAHIRAEY, 2010).

Além disso, com a rápida evolução tecnológica e a presença constante dos recursos que esta revolução provê no cotidiano das pessoas, é cada vez mais necessária a aquisição de

maiores conhecimentos para superar desafios gerados pelo mundo globalizado. Seguindo esta tendência, a formação profissional e a aprendizagem em geral, não são mais limitadas em tempos escolares, e estão sendo executadas através do decorrer da vida do ser humano. Desta forma, o *e-learning* tornou-se um dos mais populares métodos de ensino nos últimos anos (LIU; CHEN, 2005).

A fim de aumentar a eficiência da aprendizagem e reduzir a diferença entre o aprendizado por meios eletrônico e a aprendizagem tradicional, os sistemas que promovem o e-learning devem fornecer interface muito mais amigável, interação conveniente e variedade de cursos adequados às necessidades do usuário. Por outro lado, os alunos que utilizam estes ambientes de aprendizagem devem ser proativos para poder pesquisar materiais de estudo referentes aos cursos e selecionar os arquivos que estão interessados (LIU; CHEN, 2005).

O *e-learning* é uma modalidade genérica de aprendizagem que engloba os canais de aprendizagem e sistemas com disponibilização de conteúdos multimídia, videoconferência, aulas online interativas e sistemas de gerenciamento de aprendizagem. Além da sua utilização em um ambiente tipicamente escolar, sistemas *e-learning* estão cada vez mais sendo utilizados em organizações, comerciais ou não, para melhorar a eficiência e reduzir custos de treinamentos e outras atividades com objetivos educacionais (ZHANG; BAO, 2010).

2.1.1 Ambientes Virtuais de Aprendizagem

A grande disponibilidade de computadores, tanto em escolas como nas residências, e a facilidade de acesso à Internet têm influenciado muito a utilização da tecnologia educacional nos últimos anos. A geração atual de computadores suporta a utilização de tecnologias multimídia, que em conjunto com as tecnologias de comunicação, fazem com que os AVAs sejam ferramentas essenciais e eficientes para cobrir uma ampla gama de processos educacionais (BAHIRAEY, 2010). A forma mais comum de aplicação desta modalidade educacional utiliza a Internet e pode ser dividida em duas categorias principais, síncrona e assíncrona. A forma síncrona refere-se ao processo educacional onde a participação simultânea dos alunos e de um tutor é necessária para realizar as atividades que resultem na aprendizagem. Assim, esta modalidade utiliza diversas ferramentas de comunicação síncrona para possibilitar discussões virtuais em grupo, enriquecendo o processo de aprendizagem. Por outro lado, a aprendizagem assíncrona, oferece mais flexibilidade e não requer participação simultânea de alunos e instrutores para que o processo educacional aconteça (GEORGOULI,

2011). Com base nisto, este trabalho utiliza a abordagem assíncrona devido às características de aquisição de informação ofertada pelo museu desenvolvido.

Neste contexto, AVAs são sistemas de software que facilitam os processos de *e-learning* para o aprendizado individual ou coletivo. Eles precisam basicamente da Internet e fornecem muitas das funções gerenciais, tais como gestão do material educacional, acompanhamento e avaliação da aprendizagem dos alunos. Entretanto, qualquer que seja o tipo de sistema usado, os pesquisadores concluem que um AVA não pode substituir a interação entre aluno e professor. Além disso, outro problema que ocorre na maioria dos AVAs é que o conteúdo é passado para todos os alunos da mesma forma e não muda de acordo com as necessidades de cada usuário (BAHIRAEY, 2010).

Desta forma, nos últimos anos, pesquisadores têm tentado modificar este comportamento passivo e têm apresentado uma série de práticas e tecnologias inovadoras para se chegar a uma nova geração de AVAs, onde é possível ter habilidades de interatividade reais e participação dos alunos de maneira mais satisfatória no processo de aprendizagem (BAHIRAEY, 2010). No campo da inteligência computacional, uma das formas existentes para solucionar este tipo de problema é a utilização de agentes inteligentes. Sua utilização tem gerado um enorme interesse na comunidade científica devido à infinidade de problemas que podem ser solucionados, dentre eles a personalização de conteúdo em AVAs (PEÑA; SOSSA; GUTIERREZ, 2006).

Diante disso, este trabalho propõe a utilização de diversas tecnologias, como ontologias, agentes inteligentes e técnicas de RV, como solução para o problema da falta de personalização do conteúdo educacional e desmotivação dos alunos, encontrado na maioria dos AVAs, utilizando o contexto de um museu virtual em 3D com recomendação de conteúdo de forma personalizada.

2.1.2 Ambientes Virtuais de Aprendizagem em 3D

Tecnologias 3D podem ser utilizadas em uma série de aplicações e são úteis em diversas áreas como jogos e animações, aplicações médicas, segurança e monitoramento e controle industrial. Tradicionalmente, as instituições de ensino têm sido os principais influenciadores da utilização de tecnologias 3D, incentivando o desenvolvimento de diversas aplicações através do incentivo à pesquisa (RODRIGUES; KORMANN; DAVISON, 2011).

A criação de ambientes virtuais 3D, para a representação de AVAs, permite fantasiar sobre infinitas possibilidades para a criação de ambientes que não podem existir fisicamente ou que, por algum impedimento, não podem disponibilizar todos os recursos desejáveis. Com isso, os AVAs 3D permitem o surgimento de muitas ideias inovadoras para a construção e desenho arquitetônico de edifícios com fins educacionais. Além disso, a ausência de restrições físicas no desenvolvimento deste tipo de ambiente é bastante significativa em relação às dificuldades encontradas na construção de ambientes reais (SALEEB; DAFOULAS, 2010). Em AVAs 3D não existem as restrições da vida real, como restrição orçamentária para a compra de materiais de construção, autorizações de construção, testes de solo, limitações dos materiais, requisitos de infraestrutura, som ou até mesmo a gravidade. Assim, um simples procedimento 3D pode transformar e enriquecer cores e tristes estilos arquitetônicos (SALEEB; DAFOULAS, 2010).

AVAs 3D proporcionam um novo estilo de ensino, e que é bastante diferente dos métodos tradicionais, onde são ofertados não somente materiais como vídeo, resumos e outros modelos tradicionais de conteúdos educacionais, mas também apresentam cenas de RV e proporcionam uma maior riqueza de detalhes dos objetos em geral, devido ao modelo de representação em 3D (JIANG; LIU; CHEN, 2010).

2.1.3 Museus Virtuais em 3D

A aplicação de tecnologia de RV proporciona às pessoas a possibilidade de navegar em ambientes virtuais, como um museu, sem sair de suas residências. Os usuários não só podem alcançar a sensação de imersão, mas também podem interagir com aplicações e funcionalidades oferecidas pelo museu virtual. Sabendo disso, um museu virtual, a partir de sua plataforma virtual e todos os recursos que pode oferecer aos usuários, funciona como uma ferramenta educacional eficiente, pois disponibiliza informação aos usuários de forma simples e fácil de entender (JUN; BIN, 2011).

Um museu virtual pode ser caracterizado como uma coleção de artefatos eletrônicos e recursos informativos disponibilizados de forma digital. É possível, portanto, identificar algumas vantagens na abordagem virtual de um museu em relação à sua abordagem física. Uma dessas vantagens está presente na representatividade, pois um museu virtual pode apresentar reproduções digitais de objetos reais em um ambiente virtual que representa a réplica digital de um lugar verdadeiro ou de um lugar completamente imaginário, oferecendo

a possibilidade de observar e interagir com obras de arte pertencentes ao museu virtual, que estão localizadas em qualquer lugar físico (GUIDI, *et al.*, 2010). Além disso, é possível disponibilizar diversos recursos multimídia, enriquecendo ainda mais uma visita ao ambiente virtual. Outra característica marcante corresponde aos recursos disponíveis em um AVA tradicional, onde geralmente são textos, dados, gráficos, recursos de áudio, vídeo e modelos 3D. Outra característica importante é que em um museu virtual 3D, além desses recursos, existem recursos de animação e muitos outros conteúdos multimídia (CHENGWEI, *et al.*, 2011).

Um dos problemas enfrentados atualmente é a dificuldade de se encontrar alternativas eficazes para divulgar arte e cultura relacionadas com experiências reais, para alunos e, assim, promover um ambiente funcional para a educação. A riqueza da experiência ofertada pela utilização de um museu é responsável por estimular o surgimento de novas formas de pensar e compreender o mundo, enquanto a aprendizagem tradicional, realizada em sala de aula, tende a se concentrar fortemente em uma escala mais limitada, principalmente linguística. Além disso, as tecnologias atuais fornecem aos usuários maiores possibilidades de criar e compartilhar qualquer tipo de conteúdo multimídia (FORMINYKH; PRASOLOVA-FORLAND; MOROZOV, 2008).

Figura 1 – Imagem do museu virtual desenvolvido neste trabalho. Fonte: MOURA *et al.*, 2012c.

Assim, diante dos conceitos apresentados anteriormente, este trabalho apresenta um museu virtual 3D voltado para aprendizagem personalizada. A Figura 1 apresenta uma imagem do museu virtual em 3D desenvolvido para alcançar o objetivo almejado por este trabalho.

2.2 AGENTES DE SOFTWARE

Este capítulo descreve os aspectos aos relacionados a agentes e sistemas multiagente, que são requisitos importantes para o desenvolvimento deste trabalho. A Seção 3.1 traz uma discussão sobre definições de agentes de software. A Seção 3.2 traz um resumo dos tipos de agentes existentes. A Seção 3.3 aborda os conceitos e características que abrangem os Agentes de Software com Características Pedagógicas. A Seção 3.4 mostra conceitos relacionados a Sistemas Multiagente. A Seção 3.5 traz o conceito de Engenharia de Software Orientada a Agentes e uma breve discussão a respeito de metodologias de modelagem de agentes, mostrando um pouco mais de detalhes da metodologia que será adotada neste trabalho, além de um padrão utilizado para estabelecer a comunicação e o gerenciamento dos agentes.

2.2.1 Definições de Agentes de Software

Um dos conceitos de agente define que, agente é tudo o que pode ser considerado capaz de perceber seu ambiente por meio de sensores e de atuar sobre este ambiente através de atuadores (RUSSEL e NORVIG, 2003).

De acordo com Wooldridge (2002), um agente é um sistema computacional que está situado em algum ambiente e que é capaz de efetuar ações autônomas neste ambiente com o intuito de cumprir os objetivos para os quais ele foi projetado.

Outra definição mostra que agentes inteligentes são programas que executam um conjunto de operações no lugar de um usuário, utilizando uma representação do conhecimento que contém os objetivos do próprio usuário. Em complemento a esta definição, agentes também são definidos como programas que realizam diálogos para negociar e coordenar transferências de informações (ARTERO, 2009).

Por fim, Henderson-Sellers e Giorgini (2005), consideram que agentes podem ser entidades de software ou não, e que possuem características como autonomia, proatividade e são situados e direcionados a objetivos.

Diante disso, neste trabalho, um agente será considerado como uma entidade de software que, a partir de mecanismos próprios, percebe e atua em seu ambiente de forma autônoma, de acordo com o conhecimento interno que possui e com percepção atual do ambiente. Além disso, estas entidades poderão comunicar-se entre si, e a troca de informações

que ocorre entre elas possibilita o alcance de um objetivo comum. Por outro lado, estas entidades podem trabalhar para atingir objetivos individuais de forma independente que podem, no entanto, estar relacionados, sendo desta forma necessária a interação entre os diferentes agentes no sentido de atingirem os seus próprios objetivos, que ao final se complementam para alcançar o objetivo almejado. A Figura 2 ilustra esta definição.

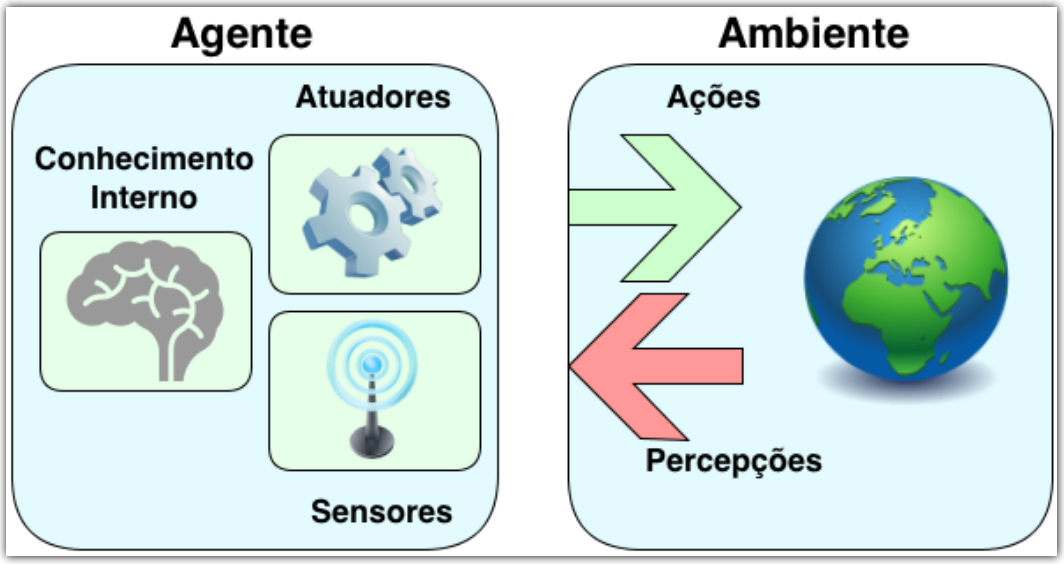


Figura 2 – Visão geral de um agente. Fonte: Adaptado de (RUSSEL; NORVIG, 2003).

Além dessas características, outra característica que deve ser levada em consideração é a racionalidade. Têm-se quatro fatores que influenciam a racionalidade de um agente de software (RUSSEL; NORVIG, 2003):

- Medida de desempenho, que é o fator que define o critério de sucesso;
- Conhecimento prévio que o agente possui;
- Ações que o agente pode realizar;
- Sequencia de percepções captadas pelo agente até o momento.

Diante desses elementos, é possível conceituar um agente racional como sendo aquele que, para uma dada sequencia de percepções possíveis, seleciona uma ação que se espera que venha a maximizar sua medida de desempenho, com base nas evidências fornecidas pela sequencia de percepções e por qualquer conhecimento interno do agente (RUSSEL; NORVIG, 2003). Levando em consideração essa definição, é possível perceber que nem sempre um agente racional tomará a melhor decisão possível, mas sim aquela que melhore sua medida de desempenho.

2.2.2 Tipos de Agentes

De maneira geral, é possível descrever agentes seguindo quatro classificações básicas levando em consideração sua forma de agir, a partir de suas percepções, e objetivos a serem alcançados (RUSSEL; NORVIG, 2003). A seguir são apresentadas estas quatro classificações:

- Agente reativo simples: seleciona ações a serem executadas com base exclusivamente na percepção atual, não levando em consideração o histórico de percepções. Este tipo de agente faz uso de um conjunto de regras que levam em consideração uma condição para realizar uma ação. Como não possuem uma memória, esses agentes são incapazes de planejar ações futuras.
- Agente reativo baseado em modelo: que também é conhecido como agente reativo com estado interno. Este tipo de agente controla o estado atual do mundo usando um modelo interno do ambiente. Esse modelo depende do seu histórico de percepções e, dessa forma, reflete, no mínimo, alguns aspectos não observados no estado atual. Este agente combina as informações da percepção atual com as informações provenientes do modelo, para gerar a descrição atualizada do estado atual. De posse dessas informações, o agente escolhe uma ação da mesma forma que o agente reativo simples;
- Agente baseado em objetivos: também chamado de agente cognitivo, pondera suas ações levando em consideração a descrição do estado atual e os objetivos a serem alcançados. Este tipo de agente combina essas informações com aquelas sobre os resultados das ações possíveis, podendo escolher, dentre estas, a que lhe permita atingir mais rapidamente seus objetivos;
- Agente baseado em utilidade: escolhe suas ações tentando sempre maximizar uma função de utilidade. Essa função mapeia um estado ou uma sequencia de estados em um número real, que descreve o grau de satisfação do agente caso aquele estado seja alcançado.

Além disso, como os tipos de agentes listados acima são básicos, eles podem ser convertidos em agentes com capacidade de aprender de acordo com os problemas enfrentados, sendo necessário para isso o uso de algoritmos de aprendizagem, que têm como consequência o melhoramento da sua medida de desempenho (RUSSEL; NORVIG, 2003).

Agentes com aprendizado possuem uma grande adaptabilidade às mudanças do ambiente, pois, à medida que enfrenta adversidades, acaba aprendendo com elas (ARTERO, 2009).

2.2.3 Agentes de Software com Características Pedagógicas

A Inteligência Artificial tem suas raízes na compreensão humana de funções de aprendizagem que levam a diferentes modelos computacionais inteligentes. Um desses modelos é o uso de múltiplas entidades de software que interagem em conjunto, chamadas agentes, que são completamente diferentes de um programa tradicional ou objeto. Um agente é tido como uma entidade, autônoma e que age sobre o ambiente com base em mecanismos de detecção (SOLIMAN; GUETL, 2010). Em consequência disso, agentes inteligentes com características pedagógicas (AICP) têm sido utilizados como tutores utilizando modelos cognitivos dos alunos e proporcionando um suporte para a aprendizagem personalizada. Eles também têm sido usados como companheiros que podem fornecer apoio emocional aos alunos. Esses agentes estão se tornando bem mais elaborados e com habilidades que podem fornecer mais engajamento e motivação no ambiente eletrônico de aprendizagem (QU; WANG; JOHNSON, 2004).

O conceito de um AICP pode ser visto a partir de seu próprio nome como (SOLIMAN; GUETL, 2010):

- Agente: um componente de software que pode agir por si mesmo no ambiente com base em um objetivo.
- Inteligente: a inteligência pode ser caracterizada como a capacidade do agente de aprender com o ambiente de acordo com as alterações do comportamento dos usuários para alcançar os seus objetivos.
- Pedagógico: nesse contexto, o agente deve possuir habilidades pedagógicas para alcançar objetivos educacionais. Assim, este tipo de agente possui características nas quais suas medidas de desempenho são maximizadas de acordo com o aprendizado alcançado pelos usuários dos sistemas que estes agentes compõem.

Pesquisas sobre a utilização de agentes com o propósito de promover uma melhoria do aprendizado ofertado por ambientes virtuais para a aprendizagem humana são relativamente novas.

Há esforços consideráveis no emprego de agentes em ambientes tradicionais de aprendizagem e em sistemas tutores inteligentes. Portanto, para que os agentes consigam alcançar seus objetivos, as características de um ambiente de aprendizagem precisam ser consideradas. Agentes habitarão o ambiente para proporcionar um aprendizado com funções extras, nas quais sem eles não seriam alcançadas. É possível visualizar dois aspectos principais da aprendizagem com a utilização de agentes (SOLIMAN; GUETL, 2010):

- Um único agente interagindo com o aluno;
- Múltiplos agentes interagindo dentro do ambiente (sistemas multiagente).

Neste contexto, é possível perceber que estes agentes poderão comunicar-se entre si com o propósito de alcançar um objetivo comum. Por outro lado, um agente pode trabalhar para atingir seus objetivos, sem a necessidade de interação com outros agentes. Desta forma, pode-se concluir que existe muito potencial na utilização de agentes de software em AVAs, especialmente na exploração das habilidades sociais dos agentes, que podem trazer vários cenários de aprendizagem úteis para a colaboração no AVA.

2.2.4 Sistemas Multiagente

Sabendo dos conceitos e características dos agentes de software, é possível determinar que um Sistema Multiagente (SMA) trata-se de um sistema computacional em que dois ou mais agentes interagem ou trabalham em conjunto procurando desempenhar determinadas tarefas ou satisfazer um conjunto de objetivos (LESSER, 1999).

A utilização de SMAs tem como objetivo principal a transformação de grandes problemas em problemas menores, desta forma possibilitando que cada agente possa utilizar sua habilidade para tratar esses pequenos problemas através da modularização do sistema. Isto faz com que o sistema tenha uma melhor compreensão e organização, além de possibilitar a adição de novas funcionalidades através da inclusão de novos agentes (ARTERO, 2009).

A investigação científica e a implementação prática de SMAs está focada na construção de padrões, princípios e modelos que permitam a criação de pequenas ou grandes sociedades de agentes semiautônomos, capazes de interagir convenientemente de forma a atingirem os seus objetivos (LESSER, 1999). Estes agentes exibem duas características fundamentais, onde a primeira define a capacidade de agirem de forma autônoma tomando decisões que levem à satisfação dos seus objetivos, a outra destaca a capacidade de interagir

com outros agentes utilizando protocolos de interação social inspirados nos humanos e incluindo pelo menos algumas das seguintes funcionalidades: coordenação, cooperação, competição e negociação (REIS, 2003).

Os SMAs são compostos por diversos agentes que interagem ou trabalham em conjunto. Cada agente é basicamente um elemento capaz de resolver problemas de forma autônoma e que coopera com outros agentes. Para que um agente possa operar como parte do sistema, é necessária a existência de uma infraestrutura que permita a comunicação ou interação entre os agentes que compõem o sistema (REIS, 2003).

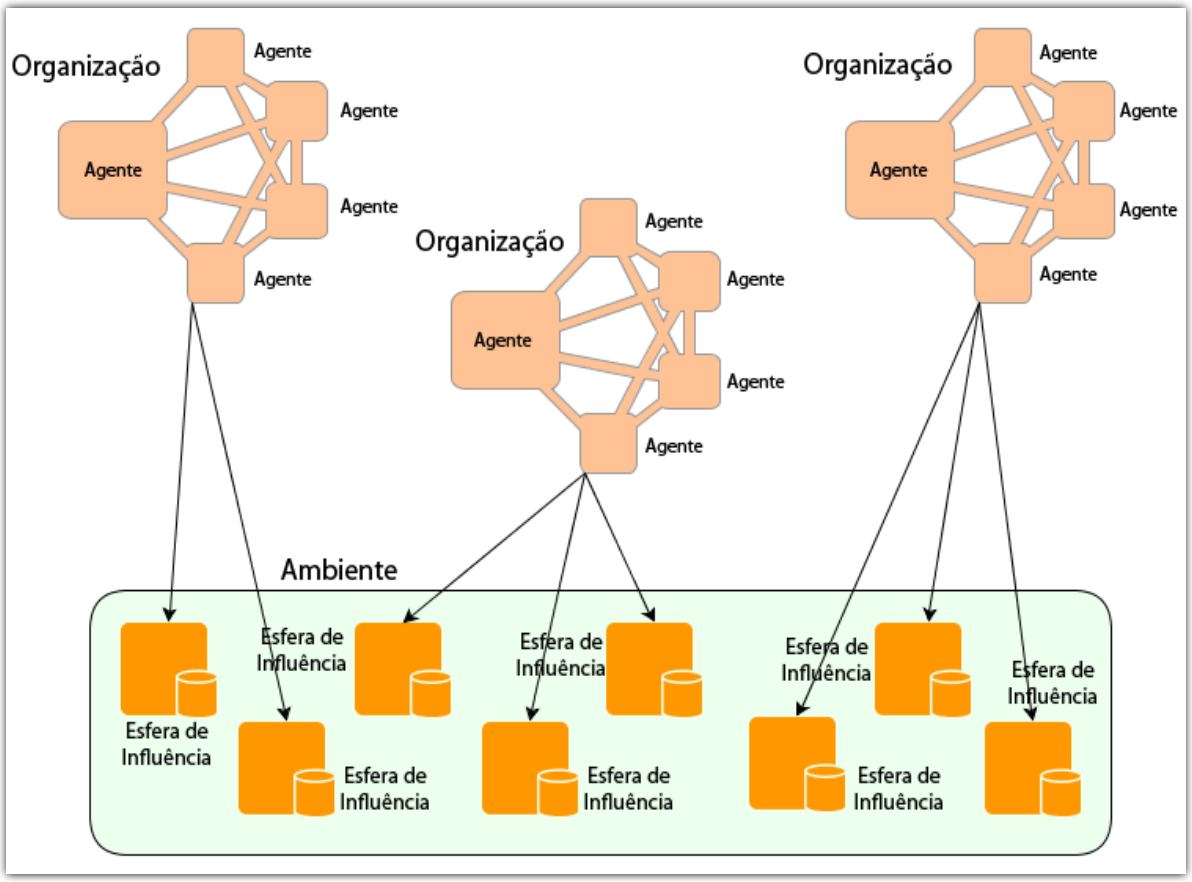


Figura 3 – Visão geral de um agente. Fonte: Adaptado de (REIS, 2003).

Em muitos problemas há a necessidade de usar as habilidades de diferentes agentes em sua resolução. De fato, tratar problemas complexos como um aglomerado de problemas menores tem sido uma estratégia bastante usada na prática. Além disso, sistemas multiagente podem apresentar maior rapidez na resolução dos problemas, por causa do paralelismo que pode ser obtido. Também se observa uma maior flexibilidade do sistema através da combinação de diversas habilidades dos agentes na resolução dos problemas. Por fim, a modularidade obtida com os sistemas multiagente é outra característica muito relevante, porque quando o sistema não consegue resolver uma determinada tarefa, geralmente, é mais

simples projetar e incluir um novo agente ao sistema do que substituir o sistema por completo (ARTERO, 2009).

2.2.5 Organização dos Sistemas Multiagente

Assim como os agentes possuem classificação, os sistemas multiagente também possuem e podem ser organizados de diversas maneiras, sendo que os três tipos mais comuns são apresentados abaixo (ARTERO, 2009):

- Hierárquico: existe um agente superior que controla e toma as decisões, comunicando sua decisão para os demais agentes que a ele são subordinados, e que, desta forma, pertencem a um nível hierárquico inferior;
- Comunidade de especialistas: todos os agentes estão em um mesmo nível, tendo cada agente uma especialidade em certo domínio. Nesse tipo de organização, a interação entre os agentes ocorre de acordo com regras que são previamente estabelecidas;
- Comunidade científica: os problemas são solucionados localmente e, em seguida, essas soluções são testadas e refinadas por agentes solucionadores de problemas.

Desta forma, de acordo com os conceitos apresentados e das características deste trabalho, a organização do sistema multiagente proposto é do tipo comunidade de especialistas.

2.2.6 Motivação para o Uso de Sistemas Multiagente

A principal motivação para a utilização de sistemas multiagente está relacionada com o fato de grande parte dos problemas mais frequentemente encontrados serem inerentemente distribuídos de uma ou várias formas. Outras motivações estão relacionadas com (REIS, 2003):

- A dimensão do problema, pois pode ser suficientemente grande de modo a não poder ser resolvido por um único agente;
- Permitir a interconexão e interoperação de múltiplos sistemas legados através de serviços;

- Providenciar uma solução natural para problemas geográfica ou funcionalmente distribuídos;
- Oferecer uma maior clareza e simplicidade conceitual de projeto.

Em um sistema multiagente, os agentes podem trabalhar em conjunto para atingir um objetivo geral, ou para atingir objetivos individuais que podem, no entanto, estar relacionados, sendo necessária a interação entre os diferentes agentes no sentido de que o alcance de seus próprios objetivos resultem também no alcance do objetivo geral do sistema. Desta forma, os agentes que foram utilizados neste trabalho, trabalham para alcançar seus objetivos individuais e que, ao final, compõem o objetivo geral da proposta. Além disso, fornecem uma maior clareza e simplicidade conceitual ao projeto. Outro fator que justifica o desenvolvimento de um sistema multiagente neste trabalho é a dimensão da proposta, que impede que o problema da recomendação personalizada de conteúdo seja resolvido com a utilização de apenas um agente.

2.3 ENGENHARIA DE SOFTWARE ORIENTADA A AGENTES

A utilização de metodologias no desenvolvimento de software serve para não tornar esta tarefa, que é complexa por natureza, um verdadeiro caos. Para se construir software de alta qualidade, é necessário seguir uma metodologia de desenvolvimento de software, a qual define, de forma organizada, como devem ser realizadas as atividades, ações e tarefas necessárias para desenvolvimento do software (PRESSMAN, 2011). A história tem indicado que o uso de metodologias de desenvolvimento tem trazido um nível de estrutura na concepção de projetos, fornecendo um roteiro razoavelmente efetivo para as equipes de desenvolvimento. Sendo assim, elas definem um conjunto de atividades, ações, tarefas, marcos e produtos de trabalho necessários para aplicar a Engenharia de Software com qualidade e confiabilidade. Esses métodos fornecem estabilidade, controle e organização sobre uma atividade e definem também os passos em um fluxo de processo (PRESSMAN, 2011).

Neste sentido, para gerenciar com sucesso a complexidade associada ao desenvolvimento, manutenção e distribuição de SMAs, são necessárias técnicas e ferramentas de engenharia de software ao longo do ciclo de vida do software. A construção de um SMA não é uma tarefa trivial, pois abrange os problemas inerentes dos sistemas distribuídos e concorrentes tradicionais, além das dificuldades que surgem dos requisitos de flexibilidade e

interações sofisticadas (CASTRO; ALENCAR; SILVA, 2006). A Engenharia de Software Orientada a Agentes (ESOA) vem justamente para suprir necessidade. A ESOA representa uma nova maneira de analisar, projetar, construir, gerenciar e manter software complexo envolvendo o paradigma de desenvolvimento orientado a agentes (CASTRO, ALENCAR e SILVA, 2006).

Qualquer metodologia para a ESOA deve prover abstrações adequadas e ferramentas para modelar não apenas as tarefas individuais, mas também as tarefas sociais dos agentes, além do comportamento inteligente de cada agente. Pensando nisso, pesquisadores têm proposto várias metodologias para a modelagem de SMAs (MORAIS II, 2010).

2.3.1 Metodologias de Modelagem de Sistemas Multiagente

Antes de desenvolver um SMA, é importante saber qual a metodologia é mais adequada para modelagem de agentes. Com o surgimento do paradigma de Programação Orientada a Agentes (POA), várias metodologias para a modelagem de SMAs foram propostas nos últimos anos, como, por exemplo: MAS-CommonKADS (IGLESIAS e GARIJO, 2005), MAS-CommonKADS+ (MORAIS II, 2010), MaSE (Multiagent *Systems Engineering*) (DELOACH; KUMAR, 2005), PASSI (*Process for Agent Societies Specification and Implementation*) (CONSSENTINO, 2005) e MESSAGE (GARIJO; GÓMEZ-SANZ; MASSONET, 2005).

Assim, devido à quantidade de metodologias e a diferença de propostas ofertadas por cada uma, pode ser bastante complicado escolher uma metodologia ao iniciar o desenvolvimento de um SMA. Desta forma, a Tabela 1, apresentada a seguir, mostra uma breve descrição das metodologias listadas anteriormente.

Tabela 1 - Metodologias para a modelagem de agentes. Fonte: Adaptado de (PONTES 2010; MORAIS II 2010).

METODOLOGIA	DESCRIÇÃO
MAS-CommonKADS	É uma extensão da metodologia CommonKADs (SCHREIBER, et al., 2000), com uma abordagem voltada para modelagem de sistemas orientados a agentes. É dividida nas fases de conceituação, análise, projeto, codificação, integração, operação e manutenção.

MAS-CommonKADS+	Extensão da metodologia MAS-CommonKADS que adiciona novos conceitos e modelos, além de e estender a AML (*Agent Modeling Language*) (CERVENKA e TRENCANSKY, 2007) para suportar os recursos inseridos na nova metodologia.
MASE	Metodologia para análise e projeto de sistemas multiagente desenvolvida inicialmente para projetos fechados, heterogêneos e de propósito gerais. Trata os agentes como especializações dos modelos de objetos, aplicando várias técnicas do paradigma orientado a objetos para especificação e projeto do sistema multiagente.
PASSI	Metodologia com passos bem definidos que vai desde o levantamento de requisitos até o código. Utilizada no desenvolvimento de sistemas multiagente usando conceitos extraídos da orientação a objetos usando UML (*Unified Modeling Language*). Possui cinco modelos: de requisitos, de sociedade de agentes, de implementação de agentes, de código e de implantação.
MESSAGE	Metodologia baseada na metodologia de desenvolvimento RUP (*Rational Unified Process*) e que abrange as fases de análise e projeto no ciclo de vida do desenvolvimento de software. Estende a UML adicionando novas notações para a modelagem de conceitos relacionados a agentes, como papéis, organização e serviços.

Vale ressaltar que não é objetivo deste trabalho apresentar um estudo comparativo detalhado entre as várias metodologias citadas. Caso seja necessário entender melhor os principais pontos de cada uma das metodologias, podem ser consultadas as análises comparativas realizadas em diversos trabalhos como em (PONTES, 2010) e (MORAIS II, 2010). Além disso, os próprios trabalhos citados em cada uma das metodologias também podem servir como meio de consulta.

Analisando-se os principais pontos fortes e fracos de cada metodologia, principalmente através dos trabalhos apresentados em (PONTES, 2010) e em (MORAIS II, 2010), a metodologia escolhida para modelagem dos agentes deste trabalho foi a metodologia

MAS-CommonKADS+, proposta em (MORAIS II, 2010), que consiste em uma extensão à metodologia MAS-CommonKADS.

Para uma melhor compreensão da metodologia MAS-CommonKADS+, é interessante, inicialmente, entender em que consiste a metodologia MAS-CommonKADS, que será apresentada na subseção seguinte.

2.3.2 Metodologia MAS-CommonKADS

A MAS-CommonKADS é uma metodologia de ESOA que estende, com uma abordagem que guia o processo de análise e projeto de SMAs (IGLESIAS; GARIJO, 2005), a metodologia CommonKADS, que é a principal metodologia estruturada de suporte à engenharia do conhecimento (MORAIS II, 2010). A MAS-CommonKADS utiliza técnicas de modelagem bem conhecidas, diagramas de caso de uso, diagramas de sequência de mensagens - MSC (*Message Sequence Charts*) e SDL (*Specification and Description Language*) com novas perspectivas dirigidas pela metáfora dos agentes (IGLESIAS; GARIJO, 2005).

O ciclo de vida do desenvolvimento de software na MAS-CommonKADS segue as seguintes fases (IGLESIAS; GARIJO, 2005):

- Contextualização: tarefa de elicitação com o intuito de obter uma primeira descrição do problema através da definição de um conjunto de casos de uso que auxiliam no entendimento do sistema e de como testá-lo.
- Análise: nessa fase são determinados os requisitos funcionais do sistema. O sistema é descrito através de um conjunto de modelos.
- Projeto: essa fase combina uma abordagem *top-down* e uma *bottom-up*, reutilizando componentes já desenvolvidos e desenvolvendo novos, dependendo da plataforma de agentes almejada. Recebe os modelos de análise como entrada e transforma-os em especificações (modelo de projeto) prontas para serem implementadas.
- Desenvolvimento e testes: são realizadas as tarefas de codificação e testes dos agentes que foram previamente definidos.
- Operação: o sistema é colocado em operação e são realizadas tarefas de manutenção.

A metodologia define, para descrever as características de um agente e seus comportamentos sociais no SMA, sete modelos, os quais estão relacionados conforme a figura abaixo:

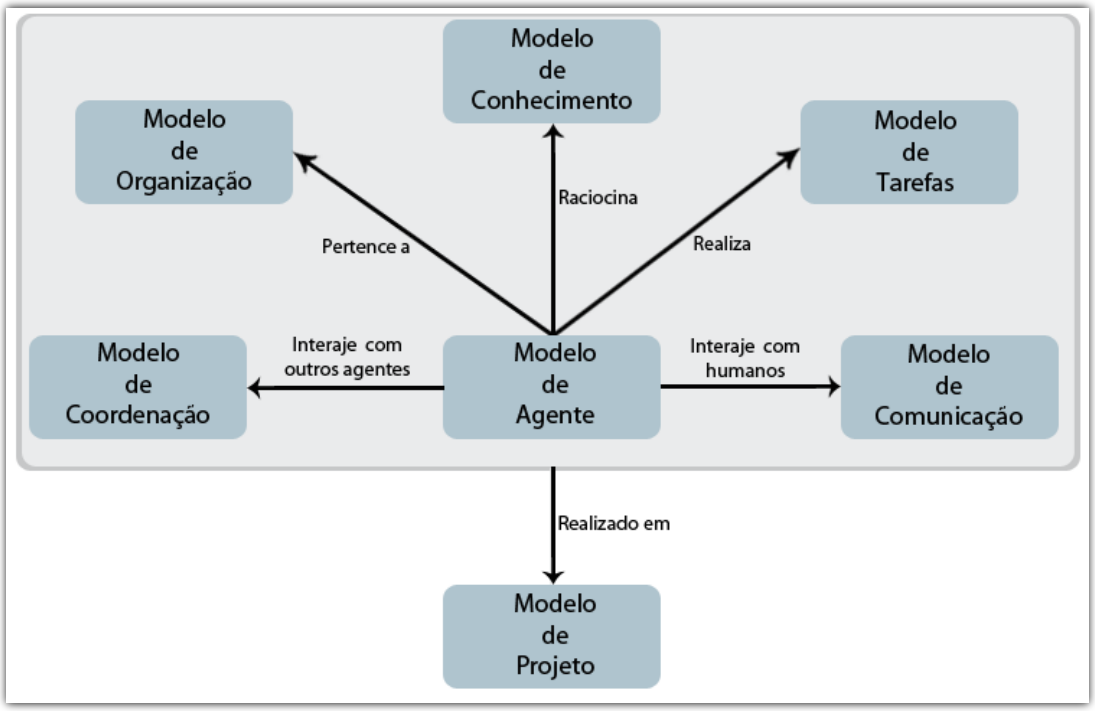


Figura 4 - Modelos que determinam as características de um agente. Fonte: Adaptado de (IGLESIAS; GARIJO 2005, MORAIS II 2010).

O modelo de agente especifica, através de *templates* textuais, as principais características dos agentes, tais como nome, tipo, papel, serviços oferecidos, metas e habilidades. É considerado o principal modelo da metodologia, visto que ele funciona como uma ligação entre o restante dos modelos, coletando as capacidades e restrições dos agentes (IGLESIAS; GARIJO, 2005; MORAIS II, 2010).

O modelo de tarefas descreve todas as atividades que devem ser realizadas com o intuito de alcançar determinada meta. As tarefas e subtarefas são demonstradas em um diagrama de tarefas, seguindo uma abordagem *top-down*. Também são utilizados *templates* textuais para descrever as entradas, saídas, precondições, pós condições e meta de cada uma das tarefas (IGLESIAS; GARIJO, 2005; MORAIS II, 2010).

O modelo de conhecimento, que é o foco da CommonKADS, é usado para modelar as capacidades de raciocínio dos agentes para realizar suas tarefas e atingir suas metas, ou seja, o conhecimento que cada agente possui para atingir seu objetivo (IGLESIAS; GARIJO, 2005; MORAIS II, 2010).

O modelo de organização mostra os relacionamentos estáticos ou estruturais entre os agentes. A notação gráfica desse modelo é baseada no diagrama de classes da UML, adicionando um estereótipo para distinguir entre agentes e objetos (IGLESIAS; GARIJO, 2005; MORAIS II, 2010).

O modelo de coordenação, diferentemente do modelo de organização, mostra os relacionamentos dinâmicos entre os agentes, ou seja, as conversações entre os agentes, suas interações e protocolos de comunicação. Ele utiliza várias técnicas orientadas a objetos para demonstrar a interação entre os agentes, dentre as quais diagramas de sequência de mensagem ou de comunicação, para modelar a comunicação entre os agentes, e diagramas de transição de estados, para modelar o processamento de transações (IGLESIAS; GARIJO, 2005; MORAIS II, 2010).

O modelo de comunicação descreve as interações entre um agente humano e um agente de software. No modelo de projeto, todos os modelos previamente criados são coletados de modo a contribuírem com a criação do projeto, que consiste em três submodelos: (i) o projeto de rede, para projetar os aspectos relevantes da infraestrutura de redes dos agentes, como coordenação dos agentes (facilidades para gerência de grupos) e a rede de comunicação através de serviços de páginas amarelas/brancas ou *agent name service* (BELIFEMINE, CAIRE e GREENWOOD, 2007)); (ii) o projeto dos agentes, para determinar a arquitetura mais adequada para cada agente; e (iii) o projeto da plataforma, para selecionar a plataforma de desenvolvimento de agentes que suporte as arquiteturas de cada agente (MORAIS II, 2010).

2.3.3 Metodologia MAS-CommonKADS+

A metodologia MAS-CommonKADS+ mantém muitos dos modelos já propostos na metodologia MAS-CommonKADS, porém realiza algumas modificações e adiciona novos conceitos. Ao invés de definir sete modelos, a MAS-CommonKADS+ contém nove modelos. Esses modelos são representados através de notações da AML, que consiste em uma linguagem de modelagem especificada como uma extensão da UML 2.0, com o intuito de especificar, modelar e documentar SMAs. Foram adicionados à metodologia os modelos de requisitos, de papéis e de recursos, enquanto que os modelos de organização, de interação e de projeto foram alterados, com o intuito de complementar a especificação dos diagramas da AML. O modelo de agentes foi o que sofreu mais alterações, possibilitando agora demonstrar

como o agente irá perceber e atuar no ambiente de acordo com seus comportamentos e planos. A Figura 5 mostra a arquitetura da MAS-CommonKADS+ (MORAIS II, 2010).

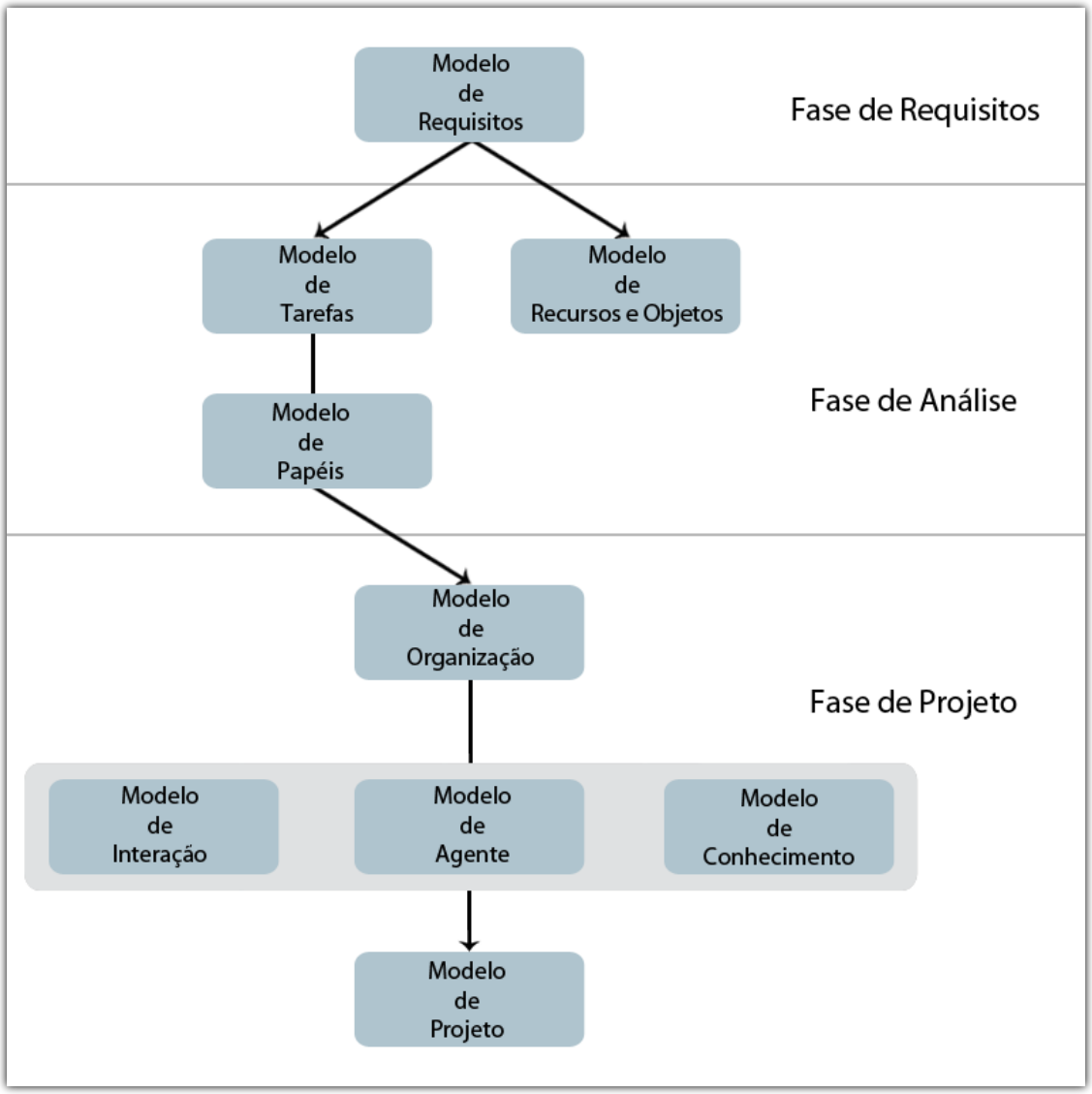


Figura 5 – Arquitetura da MAS-CommonKADS+. Fonte: Adaptado de (MORAIS II, 2010).

O modelo de requisitos é utilizado para descrever os requisitos do sistema, sendo dividido em análise de casos de uso e cenários, análise por objetivos e análise do ambiente (MORAIS II, 2010).

O modelo de papéis tem como objetivo a identificação dos papéis do sistema e a representação de papéis que realizam as tarefas descritas no modelo de tarefas. Um papel é uma abstração que define as tarefas que um agente deve realizar dentro de uma organização (MORAIS II, 2010).

Um único agente pode ser responsável por vários papéis em um sistema. Logo, a inclusão deste modelo é de extrema relevância, pois permite modelar os vários papéis que um

agente pode exercer, o que não é possível ser realizado na MAS-CommonKADS (MORAIS II, 2010).

O modelo de recursos e objetos foi adicionado com o intuito de possibilitar a modelagem de objetos e recursos, permitindo assim uma melhor definição do sistema, visto que não era algo possível de ser modelado na MAS-CommonKADS (MORAIS II, 2010).

O modelo de organização descreve a estrutura organizacional de papéis do sistema, e não mais a organização de agentes, como acontecia na MAS-CommonKADS (MORAIS II, 2010).

O modelo de interação consiste na junção dos modelos de coordenação e de comunicação da MAS-CommonKADS. Nele são descritas, através da AML, todas as interações entre agentes. Cada interação deve obedecer a um protocolo de interação, o qual estabelece como os agentes podem se comunicar (MORAIS II, 2010).

O modelo de agentes especifica os agentes, e por quais papéis eles são responsáveis, as percepções, os atuadores, as condições de ativação e de parada e a arquitetura do agente. O primeiro passo para construção desse modelo é descrever os agentes do sistema, identificando-os e definido os seus papéis. Em seguida, é realizada a identificação dos comportamentos internos do agente de acordo com sua arquitetura (MORAIS II, 2010).

O modelo de projeto descreve as características do local onde o sistema será instalado, os diagramas de implantação e informações a respeito da mobilidade dos agentes. Este modelo tem o intuito de facilitar o entendimento da infraestrutura, além de trazer informações sobre como componentes do SMA podem ser localizados, distribuídos e conectados (MORAIS II, 2010). Os modelos de tarefas e de conhecimento continuam sendo utilizados conforme especificado na MAS-CommonKADS.

2.3.4 Comunicação e Gerenciamento de Agentes

Um dos componentes chaves de um SMA é a comunicação entre os agentes. Na realidade, agentes precisam se comunicar para que sejam capazes de cooperar, colaborar e negociar entre si. De uma forma geral, os agentes interagem entre si através de algumas linguagens de comunicação especiais, chamadas linguagens de comunicação entre agentes. Atualmente, a linguagem de comunicação entre agentes mais difundida e utilizada é a FIPA ACL (*Agent Communication Language*). As principais características da FIPA ACL são a

possibilidade de utilizar linguagens de conteúdos diferentes e o gerenciamento de conversações através de protocolos de interação predefinidos (BELIFEMINE; CAIRE; GREENWOOD, 2007; FIPA, 2013).

A FIPA (*Foundation for Intelligent Physical Agents*) é um conjunto de padrões da IEEE *Computer Society* cujo objetivo é promover (i) as tecnologias baseadas em agentes, (ii) a interoperabilidade desses padrões com outras tecnologias, (iii) a interoperação de agentes heterogêneos e (iv) os serviços que eles podem representar (FIPA, 2013).

Além de prover um padrão e uma linguagem comum através da qual os agentes podem se comunicar, a FIPA define um modelo lógico de referência para gerenciamento dos agentes. Desta forma, as plataformas que atendem à sua especificação devem implementar esse modelo, possibilitando assim criação, registro, localização, comunicação, migração e operação dos agentes (BELIFEMINE; CAIRE; GREENWOOD, 2007). A Figura 6 mostra os componentes desse modelo.

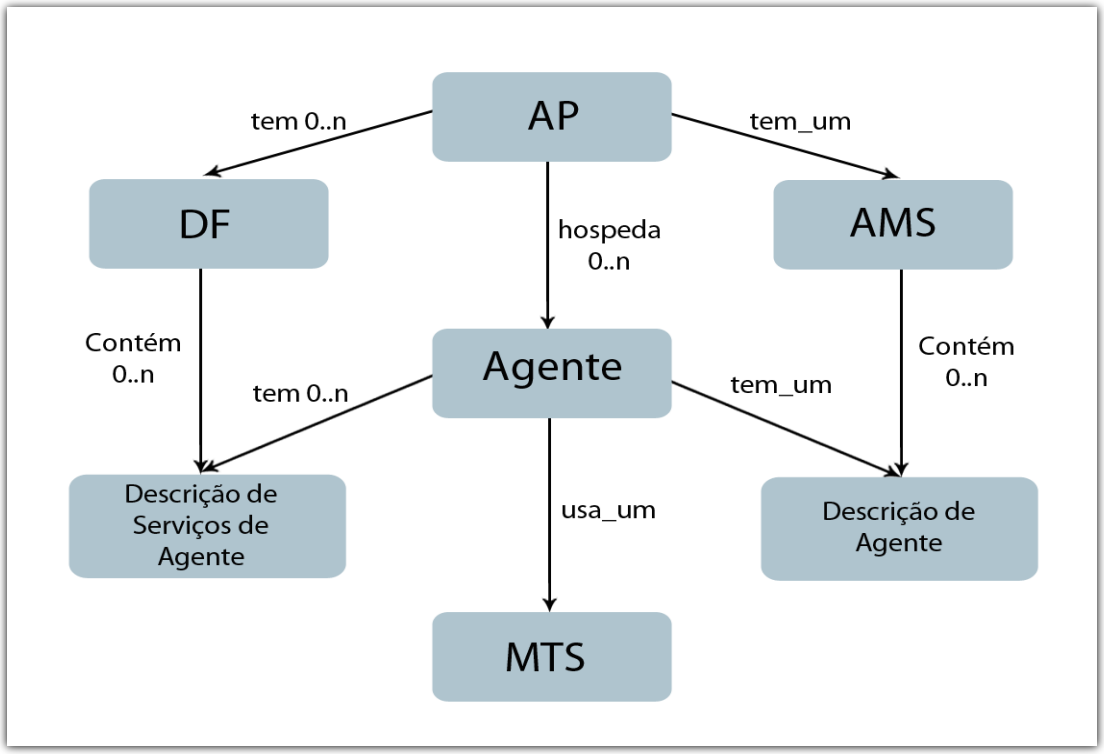


Figura 6 – Modelo de referência FIPA para gerenciamento de agentes. Fonte: Adaptado de (BELIFEMINE; CAIRE; GREENWOOD, 2007).

Como pode ser visto na Figura 6, os seguintes componentes podem ser visualizados nesse modelo (BELIFEMINE; CAIRE; GREENWOOD, 2007):

- *Agent Platform* (AP): provê a infraestrutura física mínima na qual os agentes são executados e consiste de máquinas, sistemas operacionais, componentes para gerenciamento de agentes FIPA. Os agentes em si e qualquer software de suporte adicional.
- *Agent Management System* (AMS): componente obrigatório de uma AP responsável por gerenciar as operações desta, tais como criação e destruição de agentes, e por fiscalizar as migrações dos agentes entre APs. Em cada AP existe apenas um AMS e, caso a AP seja composta de várias máquinas, o AMS será a autoridade máxima entre todas elas. Cada agente deve se registrar com o AMS para que possa obter um AID (*Agent Identifier*), identificador que o identifica de forma única dentro da AP. O AMS mantém, então, um diretório contendo todos os AIDs e os respectivos estados dos agentes como, por exemplo, ativo, suspenso ou em espera, serviço este chamado de páginas brancas.
- *Agent*: processo computacional que reside em uma AP e oferece um ou mais serviços computacionais, que podem ser publicados como uma descrição de serviço. Cada agente deve ter, obrigatoriamente, um AID.
- *Directory Facilitator* (DF): componente opcional de uma AP que provê, para outros agentes, o serviço de páginas amarelas. Esse serviço consiste em uma lista de todos os agentes e os respectivos serviços oferecidos por cada um destes. Todo e qualquer agente que deseje publicar seus serviços para outros agentes devem encontrar um DF apropriado e requisitar o registro da sua descrição de serviço. Além disso, os agentes podem retirar e modificar o seu próprio registro de um DF e buscar neste, de acordo com um critério de busca, por um registro de serviço fornecido por outro agente. Esse componente é de extrema importância para o SMA proposto neste trabalho.
- *Message Transport Service* (MTS): também conhecido como ACC (*Agent Communication Channel*), o MTS é o serviço provido por uma AP para transportar mensagens FIPA-ACL entre os agentes em uma determinada AP e entre agentes localizados em APs distintas.

2.4 WEB SEMÂNTICA

A concepção inicial da Web tinha como proposta inicial a ampla utilização de páginas desenvolvidas através da utilização de tecnologias, sistemas e serviços prestados que não foram concebidos para entender ou utilizar de forma autônoma o conteúdo disponibilizado na Web (LIM *et al.*, 2009). Diante disso, a Web Semântica foi projetada para resolver este problema, enriquecendo o conteúdo da web com dados de marcação. Estes dados de marcação tem por significado a adição de informações mais estruturadas que comporão as informações apresentadas nas páginas que eram desenvolvidas anteriormente. Essa marcação de dados apresenta vantagens em compreensibilidade por parte das máquinas e, por conseguinte, pode melhorar a aplicação de agentes de software para processar o conteúdo da web (BEGAM; GANAPATHY, 2011). Assim, a Web Semântica é uma extensão da Web que está desencadeando uma revolução de novas possibilidades em muitos campos, como a medicina, informática e mais notoriamente a pesquisa na web. Seguindo esta tendência, esta tecnologia pode ser estendida para a educação a distância para obter resultados ainda mais satisfatórios.

Deste modo, a Web Semântica foi idealizada no intuito de instituir maior nível semântico aos recursos informacionais disponibilizados, utilizando ferramentas capazes de interpretar e distinguir o sentido das palavras em um contexto e, assim, tornar a recuperação mais eficiente. A Web Semântica tem como proposta a estruturação e a contextualização semântica dos dados representados, e isso tem o intuito de eliminar ou diminuir os problemas de recuperação, e para isso apresenta uma estrutura com ferramentas que possibilitam a compreensão e o gerenciamento do conteúdo dos recursos, bem como o processamento e troca de informações com outros programas (BERNES-LEE; HENDLER; LASSILA, 2001). Assim, a Web Semântica é estruturada para apresentar recursos informacionais de maneira mais eficiente e mais estruturados, ou seja, o conteúdo informacional destes recursos seriam mais bem explicitados e definidos semanticamente, formando uma rede de informações conectadas que, por meio de ferramentas apropriadas, proporciona uma melhor recuperação de informação (ALVES, 2005).

A arquitetura proposta para o estabelecimento da Web Semântica proporciona uma maior estruturação do conteúdo dos recursos, bem como uma maior definição semântica dos dados representados, criando um ambiente favorável para que agentes de softwares possam realizar atividades sofisticadas, como processar e entender o contexto dos dados solicitados na busca, proporcionando assim uma recuperação mais eficiente para os usuários (BERNES-

LEE; HENDLER; LASSILA, 2001). Para Souza e Alvarenga (2004), o projeto da Web Semântica provê a criação e a implantação de padrões que permitem o compartilhamento de informações entre sistemas de informação. Sendo assim, para que ela seja implementada, é necessário o trabalho conjunto de várias ferramentas tecnológicas que propiciem uma melhor estruturação e representação dos dados. Isso pode ser mais bem visualizado quando se observa a arquitetura da Web Semântica proposta por seus idealizadores. A Figura 7 ilustra a arquitetura da Web Semântica proposta.

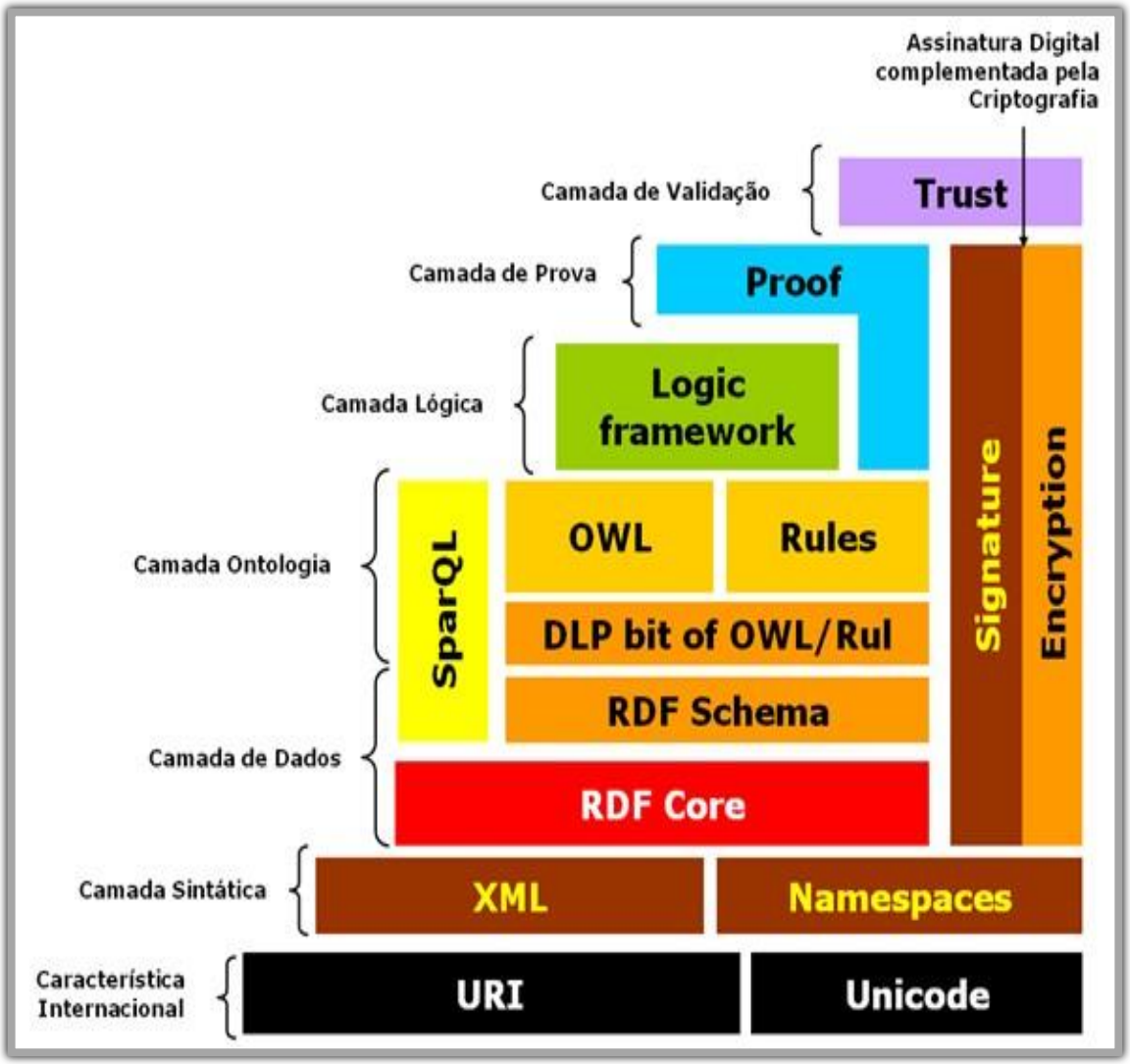


Figura 7 – Arquitetura da Web Semântica. Fonte: Adaptado de (BERNES-LEE; HENDLER; LASSILA, 2001).

Para fins deste estudo, baseando-se na proposta de arquitetura apresentada acima, pode-se descrever as principais tecnologias e camadas inerentes ao projeto Web Semântica, sucintamente, da seguinte maneira:

Tabela 2 – Descrição da arquitetura da Web Semântica. Fonte: Adaptado de (BEGAM; GANAPATHY, 2011).

TECNOLOGIAS	DESCRIÇÃO
URI	Conforme apresentado na Figura 6, este componente consiste de um Identificador Único de Recursos (URI), que possibilita a definição e adoção, de maneira precisa, de nomes aos recursos e seus respectivos endereços na Internet.
UNICODE	Esquema padronizado de codificação dos caracteres, que diminui consideravelmente a possibilidade de redundâncias dos dados, pois funciona independentemente da plataforma utilizada.
SIGNATURE	Conjunto de tecnologias desenvolvidas com o intuito de substituir em ambiente computacional a função exercida pela assinatura formal de uma pessoa em um suporte físico. A assinatura digital garante a integridade dos dados e a comprovação da procedência dos recursos.
ENCRYPTION	Consiste de um processo em que as informações são cifradas de modo que não possam ser interpretadas por qualquer pessoa ou sistema computacional, garantindo assim a confidencialidade das informações.
XML	É uma linguagem computacional que possibilita a estruturação dos dados por meio da definição de elementos e atributos, e que permite a descrição de regras sintáticas para a análise e validação dos recursos.
NAMESPACE	Coleção de nomes, identificados por um URI, que são utilizados em documentos XML para validar elementos e atributos.
RDF CORE	Núcleo que compreende as especificações do modelo e a sintaxe da RDF - *Resource Description Framework* - (Estrutura de Descrição de Recursos), possibilitando a descrição dos recursos por meio de suas propriedades e valores. Pode ser vista como uma tecnologia de capacitação para a modelagem semântica, sobre a qual podem ser criadas linguagens computacionais específicas.

RDF SCHEMA	Utilizada para a descrição do vocabulário RDF, possibilitando a definição de taxonomias de recursos em termos de uma hierarquia de classes. É uma extensão semântica do código RDF, fornecendo mecanismos para descrever grupos de recursos e os relacionamentos existentes entre eles.
SPARQL	É uma linguagem computacional utilizada para realizar consultas a partir de estruturas RDF, favorecendo a recuperação de informações de maneira mais eficaz.
DLP	Também é uma tecnologia candidata à recomendação e constitui a intersecção entre os dois principais paradigmas utilizados atualmente para desenvolver sistemas computacionais baseados em representação do conhecimento, Lógica Descritiva e Programação Lógica, fornecendo uma estrutura extremamente flexível.
OWL	Linguagem computacional utilizada para o desenvolvimento de ontologias. A linguagem OWL permite descrever formalmente, de modo mais eficiente, os aspectos semânticos dos termos utilizados e seus respectivos relacionamentos, possibilitando representações mais abrangentes das linguagens RDF e RDF *Schema* e favorecendo uma maior interoperabilidade.
RULES	Permite a definição de regras lógicas relacionadas aos recursos informacionais. Esta camada possibilita uma introdução lógica, enquanto que a camada superior, *Logic Framework*, possibilita a incorporação recursos lógicos avançados.
LOGIC FRAMEWORK	Camada para a definição de regras mais abrangentes, utilizadas no tratamento das informações descritas nos níveis inferiores, possibilitando que agentes computacionais possam realizar inferências automáticas a partir das relações existentes entre os recursos informacionais, podendo inclusive inferir novas informações.

PROOF	Espera-se que esta camada possibilite a verificação/comprovação da coerência lógica dos recursos, de modo que os aspectos semânticos das informações estejam descritos de maneira consideravelmente adequada, atendendo a todos os requisitos das camadas inferiores.
TRUST	Camada de Confiança, a partir da qual se espera garantir que as informações estejam representadas de modo correto, possibilitando certo grau de confiabilidade.

A característica de cada ferramenta ou tecnologia que compõe a Web Semântica está categorizada nas seguintes camadas (BERNES-LEE; HENDLER; LASSILA, 2001): característica internacional, camada sintática, camada de dados, camada de ontologia, camada lógica, camada de prova e camada de validação. O uso de padrões de metadados encontra-se implícito na camada sintática e na camada de dados.

O potencial da Web Semântica pode ser percebido através da troca e processamento de informações disponibilizadas em ambientes informacionais diversos. Deste modo, as ferramentas e tecnologias presentes na arquitetura da Web Semântica trabalham em conjunto para garantir seu funcionamento e, nesta abordagem, agentes de software são responsáveis pela busca e recuperação de informações de modo mais eficiente porque encontram recursos mais bem representados pelos metadados e definidos semanticamente pelas ontologias, tendo como apoio a linguagem XML que promove a estruturação dos dados e a arquitetura *Resource Description Framework* (RDF) responsável pelo estabelecimento da interoperabilidade. Assim, é necessário não só a implementação das ferramentas presentes em sua arquitetura, mas principalmente a construção de coleções de recursos informacionais adequadamente estruturados e representados pelos metadados (ALVES, 2005).

Portanto, a Web Semântica tem sido estudada por muitos pesquisadores nos últimos anos e os resultados mostram que ela está transformando a Web convencional, que está sendo usada hoje de forma mais inteligente e compreensível (KALOU, *et al*., 2010).

2.4.1 Ontologias

Antes de explorar conceitos mais aprofundados sobre ontologias, é necessário conhecer quatro conceitos básicos e suas relações: dados, informação, conhecimento e

inteligência. Em geral, os dados são definidos como uma sequencia de símbolos, tais como imagens, figuras, sons e texto. Mas alguns dados simples não têm qualquer significado. O conjunto de dados é a matéria-prima para a construção de informações. A informação consiste em uma série de dados. É definida como uma abstração sobre um determinado assunto e relacionamento por meio de pensamentos. Conhecimento é derivado da informação em um determinado contexto através de análise, que é baseado no pensamento e entendimento de um determinado assunto. A estrutura do conhecimento é mais complexa e difícil de ser representada e processada pelo computador. Inteligência é a capacidade de adquirir e aplicar conhecimentos e habilidades. Em outras palavras, a inteligência é o nível superior, e os dados representam o nível primário e mais simples na estrutura. No início, os dados precisam ser transformados em informações e, em seguida, as informações também serão transformadas em conhecimento. Finalmente, o conhecimento precisa ser aplicado em inteligência. A relação entre esses conceitos pode ser vista na Figura 8 (ZHAO; ZHANG, 2009).

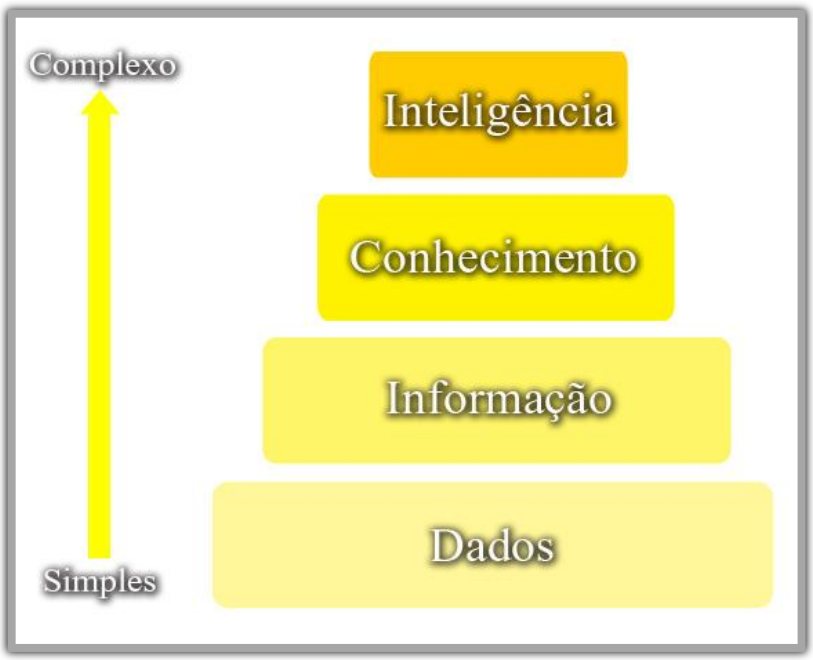


Figura 8 - Relacionamento entre dados, informação, conhecimento e inteligência. Fonte: Adaptado de (ZHAO; ZHANG, 2009).

O conceito de ontologia tem sua origem na filosofia, referindo ao tema da descrição do ser. Mas este conceito também é utilizado na área da Ciência da Computação no contexto de compartilhamento de conhecimento, onde ontologia é uma especificação formal e explícita dos termos de domínio e das relações entre eles. Uma ontologia define um vocabulário comum para pesquisadores que precisam compartilhar informações sobre um domínio. Inclui definições de conceitos básicos do domínio e as relações entre estes conceitos. Uma ontologia

de domínio representa o conhecimento pela definição de terminologias, conceitos, relações e hierarquias. Ela permite que pessoas ou softwares possam compartilhar um entendimento comum da estrutura informacional e capacita as pessoas a reutilizar o conhecimento do domínio (COLACE; DE SANTO, 2010).

Uma ontologia como artefato de computação descreve uma realidade com um vocabulário específico utilizando um conjunto de inferências a respeito do significado pretendido da palavra existente no vocabulário. Este vocabulário é composto por predicados lógicos que formam a rede conceitual que confere o caráter intencional às ontologias (FONSECA; EGENHOFER, 1999). Dessa forma, uma ontologia define as regras que realizam o controle e posterior combinação entre as relações e os termos. Portanto, uma ontologia define uma espécie de linguagem, pois é composta por um conjunto de termos e seus relacionamentos (ALMEIDA; BAX, 2003). Hoje, recursos digitais de aprendizagem são abundantes e continuam a aumentar o que nos leva a alguns desafios (DUNG; FLOREA, 2011):

- Armazenar e organizar os recursos de forma eficiente;
- Aumentar a capacidade de compartilhamento e reutilização;
- Disponibilizar recursos para utilização em pesquisas de maneira mais rápida e com maior precisão.

Com os avanços da web semântica e a utilização de ontologias, todos estes problemas podem ser superados. O uso de ontologias para descrever objetos de aprendizagem permite que diferentes aplicações educacionais compartilhem e reutilizem os mesmo conteúdos educacionais. Além disso, a capacidade de leitura de uma ontologia por computadores aumenta a velocidade de consulta às informações compartilhadas e a precisão dos resultados que são retornados. Por isso os alunos podem ter o conteúdo que necessitam, de forma mais rápida e confiável (DUNG; FLOREA, 2011).

Uma ontologia também tem grande utilidade para minimizar as ambiguidades entre conceitos, melhorando a comunicação entre os seres humanos, estabelecendo um vocabulário compartilhado que descreve o significado dos termos para se chegar a um consenso. Como modelos formais, uma ontologia representa o conhecimento em um formato de processo computacional capaz de aumentar a comunicação entre homens e computadores ou entre dois programas computacionais (BHATIA; JAIN, 2011).

2.4.2 Componentes e Benefícios de uma Ontologia

Em uma ontologia, o conhecimento é formalizado a partir de seis componentes (ZHAO; ZHANG, 2009):

- Conceitos ou classes: Trata da representação de algo, ou seja, alguma coisa acerca do domínio organizada hierarquicamente;
- Atributos: São as propriedades que descrevem os conceitos;
- Relações: São as propriedades que descrevem os conceitos. Nessas relações, podem ser definidas as cardinalidades;
- Axiomas: Representam as sentenças que irão restringir a interpretação dos conceitos e relações. Eles modelam sentenças que são sempre verdadeiras;
- Instâncias: Representam os elementos de uma ontologia, ou seja, são as representações reais dos conceitos e relações que foram estabelecidos pela ontologia;
- Restrições: São as limitações criadas às classes e aos relacionamentos, com o objetivo de evitar inconsistências. A Figura 9 representa a utilização destes componentes.

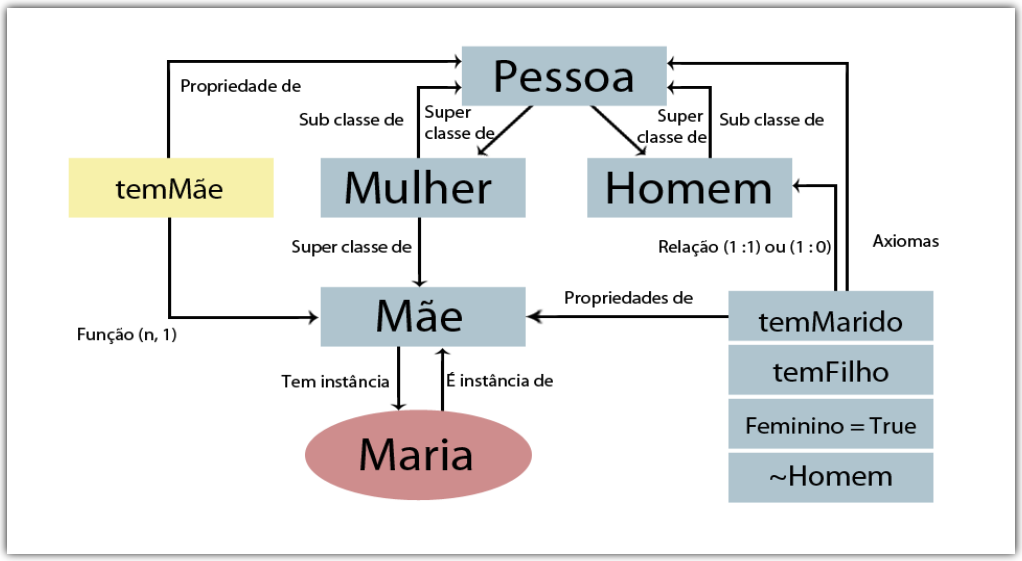


Figura 9 - Componentes de uma ontologia. Fonte: adaptado de (NOY; MCGUINNESS, 2001).

Um dos principais benefícios de uma ontologia é a possibilidade de comunicação entre pessoas, agentes e sistemas, já que a ontologia permite o reuso, a representação em forma de conceitos, o compartilhamento de conhecimentos, dentre outras características (PRADO, 2004).

A ontologia visa, em alguns aspectos, desenvolver um conjunto de regras que permitem a representação do significado semântico das informações disponibilizadas na Web. Ou seja, a utilização de ontologias oferece certas vantagens, como, por exemplo: possibilitar a partilha e a interoperabilidade do conhecimento entre diferentes domínios; estruturar o domínio de forma que se permita a sua compreensão com maior clareza e objetividade; e permitir a reutilização de conceitos em diferentes domínios (ALBARRAK; SIBLEY, 2011).

2.4.3 Uso de Ontologias em Ambientes Virtuais de Aprendizagem

Atualmente as ontologias estão sendo bastante utilizadas em AVAs. Devido ao seu poder de representação do conhecimento de um dado domínio, uma ontologia pode ser utilizada em AVAs para a representação de conceitos e modelos inerentes a estes ambientes (PONTES, 2010). Ontologias podem ser utilizadas com diversas finalidades em AVAs, sendo uma das aplicações desta tecnologia a personalização de ambientes de aprendizagem, utilizando, para isso, as características específicas do perfil de cada usuário (MIN; WEI; LEI, 2008).

Recursos digitais de aprendizagem são abundantes e continuam a aumentar. Isso nos leva a alguns desafios (DUNG; FLOREA, 2011):

- Como armazenar e organizar recursos de forma eficiente, aumentando a capacidade de partilha e de reutilização;
- Como podem os alunos pesquisar e receber os recursos de que necessitam com rapidez e precisão.

Com o desenvolvimento da web semântica e a utilização de ontologias, estes problemas podem ser superados. O uso de ontologias para representar objetos de aprendizagem permitem diferentes aplicações educacionais para compartilhar e reutilizar os mesmos conteúdos educacionais. Além disso, a capacidade de leitura de uma ontologia aumenta a velocidade de consulta de processos e a precisão dos resultados retornados. Assim os alunos e usuários em geral de AVAs podem ter os objetos de aprendizagem que necessitam o mais rápido possível e de forma mais confiável (DUNG; FLOREA, 2011).

2.5 COMPUTAÇÃO GRÁFICA E REALIDADE VIRTUAL

Existem diversos conceitos um pouco diferenciados sobre Computação Gráfica (CG), e um deles refere-se a ela como a área da ciência da computação que estuda a geração, manipulação e interpretação de modelos e imagens de objetos utilizando o computador. Tais modelos são oriundos de uma variedade de disciplinas, como física, matemática, engenharia, arquitetura e muitas outras (TRAINA; OLIVEIRA, 2006).

Pode-se dizer que CG também é um conjunto de algoritmos, técnicas e metodologias para o tratamento e a representação gráfica de informações através da criação, armazenamento e manipulação de desenhos, utilizando computadores e periféricos gráficos (BATTAIOLA, 1999).

No entanto, esta variedade de conceitos, gira em torno de uma mesma ideia: de que depende da aplicação e do contexto ao qual estamos inseridos. Profissionais que utilizam CG na publicidade referem-se a ela de forma diferente dos desenvolvedores de jogos. Foley *et al.* (1993), acrescenta que a CG é utilizada em muitas áreas da indústria, negócios, governo, educação e entretenimento. A lista de aplicações é enorme, abrangendo áreas: interface do usuário, cartografia, medicina, sistemas multimídia, entretenimento e muitas outras.

A CG pode ser classificada em três importantes áreas interligadas, como demonstra a Figura 10 (TRAINA; OLIVEIRA, 2006). Estas áreas seguem um ciclo, onde a divisão dá-se da seguinte forma:

- Síntese de imagens: representação visual através de representações geométricas;
- Processamento de imagens: transformações de imagens através de representação visual;
- Análise de imagens: especificações dos componentes de uma imagem a partir de sua representação visual.

Logo, a CG pode tratar da síntese de imagens no computador, o que envolve as etapas de modelagem e de renderização (TRAINA; OLIVEIRA, 2006).

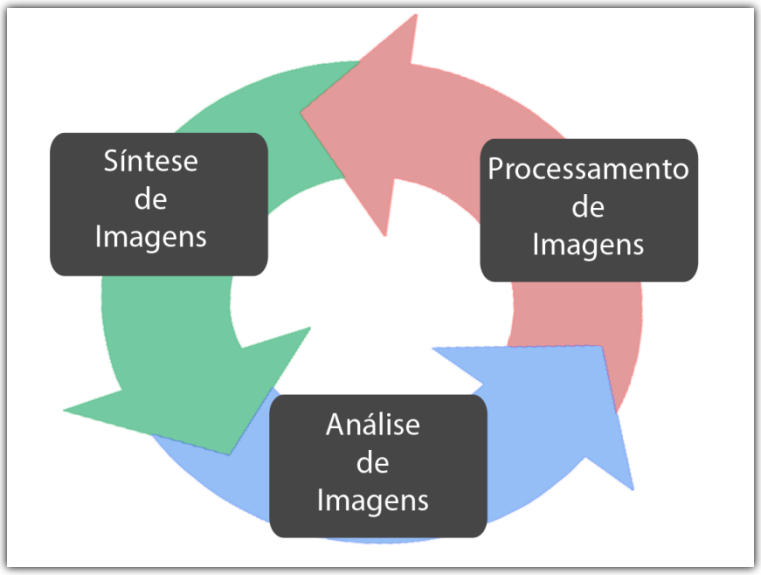


Figura 10 – Ciclo das áreas da computação gráfica. Fonte: adaptado de (TRAINA e OLIVEIRA, 2006).

2.5.1 Realidade Virtual e Aumentada

Realidade Virtual e Aumentada são tecnologias dependentes de processamento em tempo real e, por isso, são influenciadas pela evolução da computação, tanto do ponto de vista do hardware quanto do software. Além disso, pelo fato de terem sido criadas há varias décadas, suas definições acabaram sendo modernizadas, em função de fatores mais recentes, como a multiplicidade de plataformas e a viabilização de softwares capazes de tratar elementos multissensoriais. O que antes se restringia a computadores de grande porte e a aplicações específicas de CG foi atualmente expandido para microcomputadores, plataformas móveis e Internet, envolvendo aplicações gráficas, sonoras, gestuais e de reação de tato e força (KIRNER; KIRNER, 2011).

Antes do surgimento da realidade virtual e aumentada, as interfaces computacionais se restringiam ao espaço bidimensional da tela do monitor, viabilizando aplicações multimídia com textos, imagens, sons, vídeos e animações. Apesar das diferenças dimensionais, tanto a multimídia quanto a realidade virtual e aumentada têm elementos comuns, como interações multissensoriais e processamento em tempo real. Como a visão é o sentido preponderante nas pessoas e a evolução dos computadores privilegiou o monitor como principal elemento de renderização de informações, várias definições de interfaces avançadas enfatizaram o aspecto

gráfico das aplicações, assim como as aplicações que sempre buscaram algoritmos de CG simples e eficientes (KIRNER; KIRNER, 2011).

A interação com a aplicação ocorre com o apoio de teclado ou mouse, permitindo que o usuário atue indiretamente em pontos ou espaço da tela do monitor ou de projeção. Recentemente, as interações tangíveis aplicadas diretamente na tela do monitor ou de projeção, através da técnica *touch screen*, vêm crescendo, em função de suas facilidades e funcionalidades. As interações com o computador, por meio de diálogo verbal, ainda estão em estágio inicial, mas são promissoras para facilitar o acionamento e controle das aplicações computacionais. Para vencer a barreira da interação no espaço bidimensional, surgiram as tecnologias interativas tridimensionais, que permitem ao usuário manipular informações em um espaço semelhante ao espaço real, vendo, ouvindo e interagindo em três dimensões (KIRNER; KIRNER, 2011).

2.5.2 Modelagem e Renderização

A coleção de métodos usados para descrever a forma e outras características geométricas de um objeto ficou conhecida por modelagem geométrica. Tais métodos são uma síntese de outros campos: geometria analítica e descritiva, topologia, cálculo vetorial, análise numérica, entre outros. Com a utilização de softwares de modelagem 3D, os objetos são criados através de grandes malhas de polígonos e podem ser anexados a sistemas computacionais de CG. Uma malha de polígonos é uma coleção de arestas, vértices e polígonos conectados de forma que cada aresta é compartilhada por no máximo dois polígonos. Uma aresta conecta dois vértices e um polígono é uma sequência fechada de arestas (PEREIRA, 2008).

A renderização é a utilização de técnicas para geração de imagens matriciais de cenas tridimensionais. Para sintetizar essas imagens é necessário definir os objetos que compõem a cena (TRAINA; OLIVEIRA, 2006).

2.5.3 Iluminação e Textura

Exibições realísticas de uma cena são obtidas pela geração de projeções perspectivas dos objetos e pela aplicação do efeito de iluminação natural das superfícies visíveis. Um

modelo de iluminação é usado para calcular a intensidade de luz que é visível em um dado ponto na superfície do objeto. Em contrapartida, a renderização de uma superfície pode ser produzida pela aplicação do modelo de iluminação para todos os pontos da superfície visível, ou a renderização pode ser produzida pela interpolação de intensidades, resultante do cálculo do modelo de iluminação de um pequeno grupo de pontos. Além do modelo de iluminação empregado na renderização, as características das fontes de luz também devem ser analisadas quando se calcula a cor definida para cada pixel da cena (PEREIRA, 2008).

2.5.4 Sensação de Imersão e Realismo

A imersão refere-se à sensação do usuário de estar dentro do Ambiente Virtual (AV). Considerando a diversidade de aplicações de realidade virtual e aumentada para cada área, verifica-se que as exigências em termos de imersão podem variar de acordo com a finalidade da aplicação. Os objetos que compõem um ambiente virtual devem ser similares aos objetos reais em relação a cores, volumes, texturas, atividades e comportamentos. Em especial, os objetos que são utilizados para aplicações de treinamento de procedimentos devem ser cuidadosamente planejados a fim de não inviabilizar o treinamento. Esses podem ser obtidos por meio de sintetização (modelagem artística) ou análise (técnicas de reconstrução usando processamento de imagens e CG). Em ambos os casos devem conter detalhes e qualidade suficiente para que a simulação do procedimento não seja prejudicada (NUNES *et al.*, 2011).

Ainda em relação aos objetos, outro tópico que merece atenção é a correlação espacial entre objetos físicos e virtuais: as proporções de tamanho e localização de objetos no mundo virtual devem ser observadas a fim de que representem com propriedade o mundo real. Outro aspecto que contribui para o realismo da aplicação, principalmente em treinamento de procedimentos é a interação. As ações nos AVs devem considerar o comportamento físico dos objetos e pessoas. Assim, a técnica de animação, colisão e deformação deve ser cuidadosamente planejada a fim de proporcionar ao usuário a reação mais próxima possível àquela que ocorreria no mundo real, considerando as exigências necessárias em relação à precisão da representação gráfica e tempo de resposta. O realismo requerido como retorno ao usuário ainda é um desafio a ser vencido, envolvendo, na maioria das vezes, complexos modelos matemáticos que tratam simulação de deformações e colisões (NUNES *et al.*, 2011).

O realismo também passa pela questão de ergonomia. A modelagem de objetos e a inclusão de dispositivos não convencionais devem considerar a usabilidade da aplicação. Usabilidade aqui é compreendida como a característica que torna a aplicação confortável ao usuário. Talvez esta seja uma das características mais difíceis de implementar atualmente devido à ausência de dispositivos físicos de entrada e saída que simulem com realismo os dispositivos reais. Aspectos de forma, tamanho, peso e adequação ao usuário ainda constituem desafios a serem superados (NUNES *et al.*, 2011).

2.6 CRIAÇÃO E UTILIZAÇÃO DE PERFIS

Os usuários são muitas vezes incapazes de identificar as suas reais necessidades de informação na presença de enormes quantidades de dados que podem acessar. Portanto, a maioria dos usuários muitas vezes depende de mecanismos de recomendação de conteúdo. Os mecanismos de recomendação de conteúdo têm por objetivo recomendar itens, como livros, músicas, artigos e imagens que possam ser relevantes para o usuário. Para isso, os sistemas de recomendação fazem uso de uma estrutura chamada perfil do usuário (ZEB; FASLI, 2011).

A maioria dos serviços de personalização é baseada em algum tipo de perfil do usuário, que é uma instância de um modelo pré-definido de dados contendo informações sobre o indivíduo. Pode-se incluir dados demográficos, como nome, idade, origem e nível educacional, ou então representar interesses ou preferências sobre assuntos e tópicos variados (GAUCH *et al.*, 2007).

A construção de perfis requer a obtenção de informações pessoais sobre o usuário, que pode ser realizada, explicitamente, a partir da intervenção humana, ou implicitamente, de maneira automática pelo sistema. Embora os perfis geralmente contenham informações relevantes, alguns trabalhos também incluem tópicos que não são do interesse do usuário, de modo a reforçar o processo de personalização (HOASHI *et al.*, 2000). Adicionalmente, os perfis podem ser construídos estaticamente ou dinamicamente. No primeiro caso, as informações contidas no perfil não são alteradas ao longo do tempo. No segundo caso, os dados podem ser inseridos ou atualizados à medida que o usuário utiliza o sistema. Ainda em perfis dinâmicos, os tópicos de interesse podem ser classificados em curto prazo ou longo prazo. Tópicos de curto prazo são temporariamente considerados relevantes. Um exemplo são informações de uma determinada localidade onde o indivíduo pretende passar as férias.

Tópicos de longo prazo, por sua vez, são dados pessoais que dificilmente serão modificados com o tempo, tais como informações sobre pintores, museus e obras artísticas listadas em um perfil de um admirador de artes (GAUCH *et al.*, 2007). O processo de construção de perfil normalmente é dividido em três fases principais, conforme pode ser observado na Figura 11.

Figura 11 – Esquema para a construção do perfil do usuário. Fonte: adaptado de (GAUCH *et al.*, 2007).

Inicialmente, a coleta de dados é executada para se obter informações pessoais sobre o usuário. Diferentes estratégias podem ser utilizadas, as quais exploram a interação do usuário, obtendo os dados necessários de maneira implícita ou explícita. Após a coleta, o próximo passo é a construção do perfil, que consiste em agrupar e representar os conceitos de interesse seguindo um modelo pré-definido.

2.6.1 Coleta de Informações

A coleta de informações inicia-se com a identificação do usuário, que pode ser realizada através de mecanismos específicos, como login, agentes de software, *cookies* e identificadores de sessão. Atualmente, os mecanismos mais utilizados são login e *cookies*, sendo a primeira opção mais confiável do que a segunda. Após a identificação, o perfil pode conter informações heterogêneas relacionadas a um indivíduo ou grupo de indivíduos que compartilham preferências e interesses similares. Geralmente, as técnicas são divididas de acordo com a maneira que os dados são obtidos do usuário: coleta explícita ou implícita (GAUCH *et al.*, 2007).

Na coleta explícita, o próprio usuário informa seus dados pessoais e interesses, normalmente por meio de formulários HTML (*HyperText Markup Language*). É possível solicitar informações demográficas, como nome, endereço, idade e sexo, ou então oferecer mecanismos de avaliação de itens visitados anteriormente, como notas e comentários (PAZZANI; MURAMATSU; BILLSUS, 1998).

Um problema existente com a coleta explícita é o esforço adicional imposto ao usuário. Devido a isso, ou mesmo por questões de privacidade, é possível que o indivíduo não utilize o sistema. Outro problema é que, em alguns casos, o usuário pode não fornecer as informações corretas sobre suas preferências; ou ainda, esses dados podem se tornar inconsistentes com novos interesses que surgem a longo-prazo. Por outro lado, algumas pessoas gostam de fornecer e/ou compartilhar suas preferências (GAUCH *et al.*, 2007).

A coleta implícita tem como principal vantagem a não intervenção do usuário durante a obtenção de suas preferências. Kelly e Teevan, (2003) oferecem uma descrição detalhada dos principais métodos existentes para coleta de dados pessoais e as informações que podem ser extraídas com base no comportamento do usuário. As principais técnicas são:

- Histórico de navegação: O histórico do usuário é uma fonte rica de informações pessoais que pode ser explorada por meio do compartilhamento da memória do navegador (PRETSCHNER; GAUCH, 1999), ou então servidores armazenando as páginas visitadas (BARRETT; MAGLIO; KELLEM, 1997). A frequência e tempo gasto em cada tópico são suscetíveis de serem usados para se inferir o nível de interesse do indivíduo;
- Agentes de software: Trata-se de uma aplicação que têm a função de coletar informações relacionadas à interatividade do indivíduo, enviando-as periodicamente ao servidor (GAUCH *et al.*, 2007);
- *Logs* de navegação e de busca: O histórico de navegação pode também ser extraído no servidor da aplicação. Ao contrário das abordagens que utilizam um software instalado no cliente para obtenção da interação do usuário, nesse caso apenas a atividade do indivíduo com o sistema de personalização é armazenada no servidor. Além do *log* de navegação, é possível também obter o histórico das buscas realizadas pelo usuário no sistema. Dentre as informações úteis, destacam-se os URLs (*Uniform Resource Locator*) dos itens visitados e a data e hora da consulta. Como vantagens, o usuário não se limita ao uso de um dispositivo em particular, e não há a necessidade de

se instalar softwares adicionais. Como desvantagem, a quantidade de informações que serão extraídas é menor do que aquela obtida usando as abordagens anteriores (LIU; YU; MENG, 2002).

De modo geral, as coletas implícita e explícita de dados pessoais apresentam vantagens e desvantagens. Apesar de existirem estudos para indicar qual estratégia é melhor (TEEVAN; DUMAIS; HORVITZ, 2005), não existe ainda uma resposta clara para o assunto, tendo em vista que os trabalhos reportados diferem nas conclusões. No entanto, uma descoberta importante feita por Teevan *et al.*, (2005) refere-se à quantidade de informações disponíveis. Com base em seus experimentos, os autores argumentam que melhores resultados serão obtidos à medida que mais informações sobre o usuário forem extraídas. Assim, observa-se uma estratégia interessante para obtenção de preferências que é a combinação das técnicas de coleta implícita e explícita, assim como é reportado no trabalho de Quiroga e Mostafa (1999).

2.6.2 Perfil do Usuário

Um perfil ou modelo de usuário consiste principalmente de conhecimento sobre as preferências individuais que determinam o comportamento do usuário. Entende-se por preferências todas as informações que são diretamente necessárias para a adaptação do comportamento do sistema aos interesses do usuário (BARTH, 2010).

O perfil do usuário pode possuir informações pessoais, tais como: idade, profissão e sexo. Estas informações não são diretamente necessárias para a adaptação do sistema ao usuário, mas podem ser usadas para categorizar o usuário em um estereótipo, o que torna possível a ação antecipada do sistema em relação ao comportamento do usuário. Estereótipos são uma forma de organizar os usuários do sistema que possuem o mesmo comportamento em grupos. Um estereótipo representa uma coleção de características relacionadas a um conjunto de predições sobre estas características (PAPATHEODOROU, 2001).

2.6.3 Criação e Manutenção do Perfil do Usuário

Para que se possa recomendar algo a um usuário, é necessário se ter conhecimento sobre quem é este usuário. É necessário capturar e armazenar seus dados pessoais e

comportamentais. Portanto, é essencial que se possa identificar o usuário no momento em que ele acessa o sistema onde foram implantadas as rotinas de recomendação (REATEGUI; CAZELLA, 2005). Para o desenvolvimento de sistemas de recomendação que fazem uso de perfis de usuários existem algumas premissas (BARTH, 2010):

- Para iniciar as atividades é necessária a criação de um perfil do usuário;
- Escolher uma representação técnica do perfil do usuário;
- Utilização de técnicas para gerar um perfil do usuário inicial;
- Quando os usuários interagem com o sistema, eles fornecem informações sobre eles mesmos e sobre as suas atividades.

Com base nessas premissas, é possível determinar cinco decisões de projeto que devem ser tomadas para o desenvolvimento de módulos que permitem a criação e manutenção do perfil do usuário. São elas: (i) técnica de representação do perfil do usuário; (ii) técnica utilizada para a criação do perfil inicial do usuário; (iii) técnica de aprendizado do perfil do usuário; (iv) fonte de realimentação relevante que representa os interesses do usuário; e (v) técnica de adaptação de perfil do usuário (BARTH, 2010).

Muitos métodos de aquisição de perfil do usuário têm sido apresentados na literatura. A utilização destes métodos depende da definição do perfil de usuário e da representação utilizada. Em geral, os métodos de aquisição do perfil do usuário podem ser agrupados em duas famílias: métodos explícitos, que podem utilizar questionários, e implícitos (não invasivos) que utilizam inferências das preferências dos usuários a partir do comportamento apresentado durante a utilização do sistema (PAPATHEODOROU, 2001).

As informações contidas no perfil do usuário devem ser relevantes para o sistema de recomendação que se deseja desenvolver. A técnica de representação usada na concepção do perfil deve ser adequada para representar as informações relevantes do contexto em que o sistema atua. É desejável que o sistema de recomendação consiga o mais rápido possível informações sobre o usuário a ponto de fornecer adaptações úteis logo no início da interação do usuário com o sistema em operação. Por essas razões, iniciar e manter perfis de usuários é um aspecto difícil no desenvolvimento de sistemas de recomendação (BARTH, 2010). A Figura 12 apresenta um exemplo de arquitetura para obtenção e manutenção de perfil de usuário.

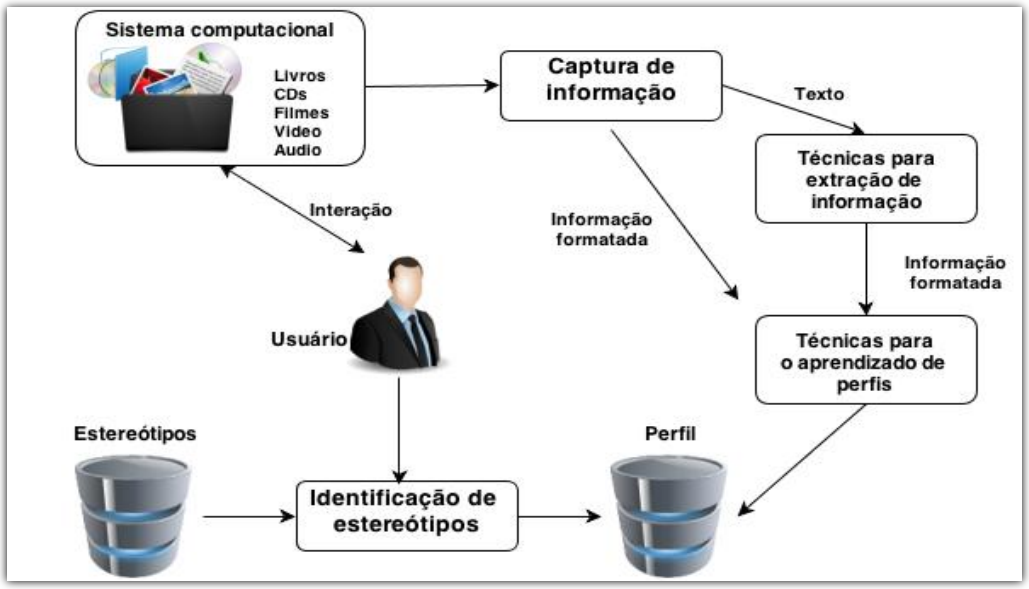


Figura 12 – Arquitetura para obtenção e manutenção de perfil de usuário. Fonte: adaptado de (BARTH, 2010).

Os interesses do usuário mudam ao longo do tempo. Um sistema de recomendação precisa de informação atualizada sobre os interesses do usuário para manter o perfil sempre de acordo com as necessidades do usuário. As duas maneiras mais comuns para obter realimentação relevante é através da informação fornecida pelo usuário de maneira explícita ou implícita. As formas de realimentação podem ser divididas em quatro categorias (BARTH, 2010):

- Sem realimentação: para aqueles sistemas de recomendação que não precisam alterar o perfil do usuário, pois esta realimentação não é relevante;
- Realimentação explícita: o usuário pode indicar a sua opinião sobre determinado objeto recomendado ou sugerido pelo sistema de recomendação;
- Realimentação implícita: significa que o sistema automaticamente irá inferir as preferências do usuário através do monitoramento das suas ações;
- Abordagens híbridas: como é comum em muitas tecnologias, os sistemas com o melhor desempenho são aqueles que combinam diversas tecnologias existentes. Nesta área, a realimentação implícita pode ser combinada com a explícita. As técnicas de realimentação implícita servem para diminuir as responsabilidades do usuário, enquanto que as técnicas de realimentação explícita fornecem informação adicional para melhorar a eficácia do sistema.

A criação e a manutenção do perfil do usuário impõem alguns desafios. Em relação à representação do perfil do usuário, deve-se utilizar técnicas que possuam um maior poder de

representação do perfil do usuário. Outro fator importante é utilizar técnicas que permitam, o mais rápido possível e com o mínimo de interações possíveis entre homem-máquina, criar um perfil do usuário inicial com qualidade.

2.6.4 Sistemas de Recomendação

Existem quatro principais abordagens para utilizar o perfil do usuário: filtragem demográfica, filtragem baseada em conteúdo, filtragem colaborativa e abordagem híbrida (BARTH, 2010).

A filtragem demográfica utiliza a descrição de um usuário para aprender com o relacionamento entre um item em particular e o tipo de usuário que poderia vir a se interessar por ele. Este tipo abordagem utiliza as descrições das pessoas para conseguir aprender com o relacionamento entre um item e o tipo de pessoa que gostaria deste. O perfil do usuário é criado pela classificação dos usuários em estereótipos que representam as características de uma classe de usuários. Os dados pessoais são requisitados ao usuário, geralmente em formulários de registro, e usados como caracterização dos usuários e seus interesses (REATEGUI; CAZELLA, 2005).

A filtragem baseada em conteúdo usa descrições do conteúdo dos itens para assimilar a relação ente um único usuário e diversos itens, a Figura 13 apresenta um exemplo de arquitetura para a filtragem baseada em conteúdo.

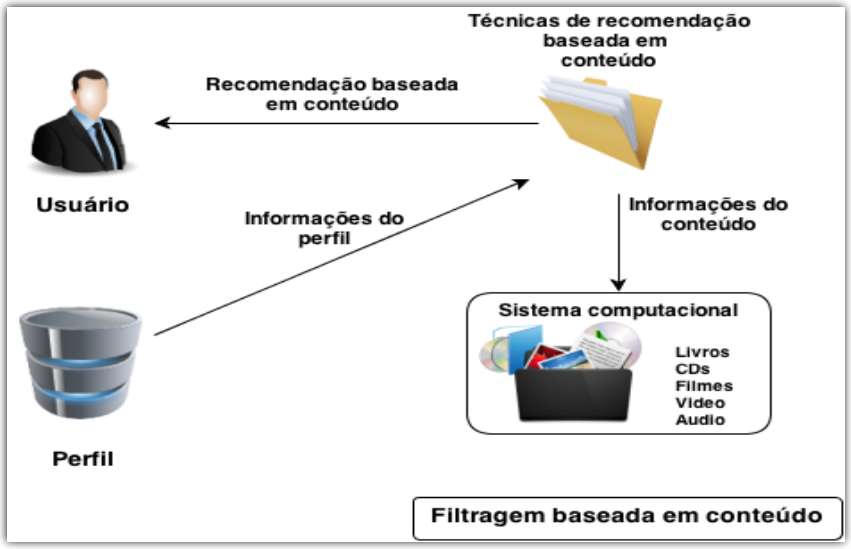


Figura 13 – Filtragem baseada em conteúdo. Fonte: adaptado de (BARTH, 2012).

Esta abordagem utiliza, como entrada, informações que descrevem os itens e o perfil do usuário. Baseado no conteúdo de cada item verifica-se as características do item em relação às preferências do usuário. Este tipo de filtragem é bastante útil para recuperar informações e gerar recomendações em sistemas de recuperação de informação (BARTH, 2010).

A filtragem colaborativa é utilizada quando podemos assumir que um usuário se comporta de forma semelhante a outros usuários, ou quando itens possuem a mesma demanda. Este método tem grande utilidade na recomendação de filmes, músicas e jogos (KUAN-CHUNG; WEI-GUANG, 2009). A Figura 14 apresenta um exemplo de arquitetura para filtragem colaborativa.

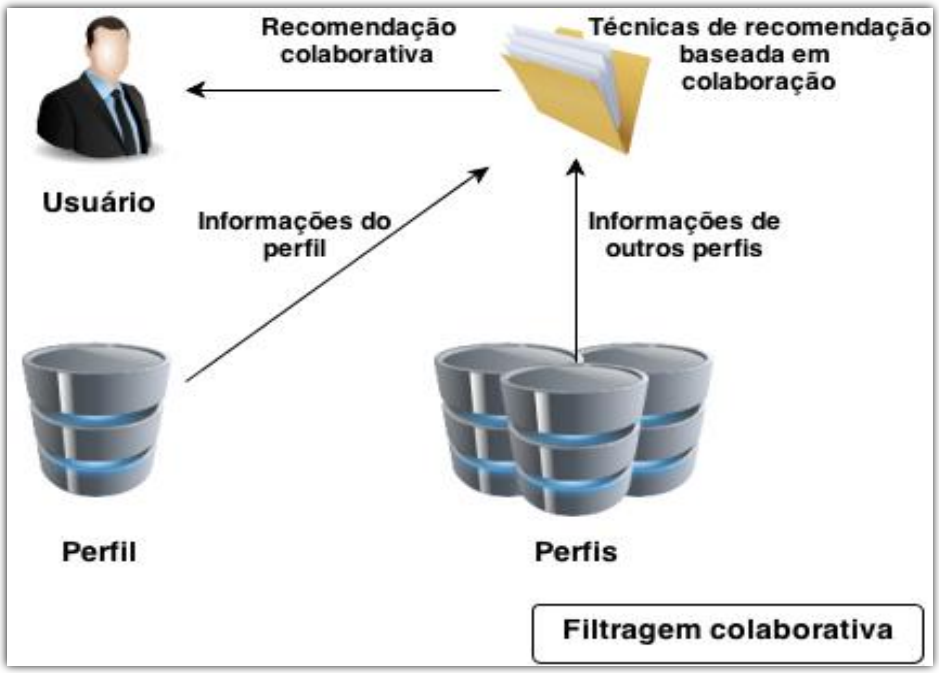


Figura 14 – Filtragem colaborativa. Fonte: adaptado de (BARTH, 2010).

Diversos sistemas de recomendação utilizam abordagens híbridas para combinar métodos baseados em conteúdo e a abordagem colaborativa com o intuito de eliminar certas limitações que estas abordagens podem apresentar quando utilizadas separadamente (BARTH, 2010).

3 TRABALHOS RELACIONADOS

Este capítulo descreve alguns trabalhos relacionados ao tema proposto nesta dissertação. A Seção 3.1 detalha os trabalhos desenvolvidos na área de AVAs. Já a Seção 3.2 descreve trabalhos que utilizam agentes de software e sistemas multiagente. A Seção 3.3 apresenta os trabalhos que utilizam ontologias e a Web Semântica no desenvolvimento de AVAs. A Seção 3.4 mostra trabalhos desenvolvidos através da utilização de tecnologias relacionadas à Computação Gráfica e que utilizam Realidade Virtual. E, por último, são apresentados os trabalhos que utilizam o perfil dos usuários para realizar a recomendação de conteúdo.

3.1 AMBIENTES VIRTUAIS DE APRENDIZAGEM

No artigo desenvolvido por Forminykh, Prasolova-Forland e Morozov (2008), é apresentado um sistema original com base na metáfora de um museu virtual, o museu virtual 3D e ambiente de aprendizagem de artes (VELA). Considerando a importância crescente de tecnologias colaborativas e redes sociais na educação, os autores também descrevem sobre como este museu virtual pode ser estendido para dar suporte a uma variedade de possibilidades para a aprendizagem colaborativa e partilha de recursos.

O sistema SAGRES, descrito por Moraes, Bertoletti e Costa (1999), é um ambiente construído para funcionar utilizando a Web, e que tem por objetivo facilitar a apresentação de conteúdos de um museu, adaptando este conteúdo de acordo com as características de cada visitante. A interação com o sistema pode ocorrer individualmente ou em grupos de alunos. O sistema oferece também recursos para apoiar algumas formas de aprendizagem cooperativa, permitindo aos visitantes interagir tanto de forma síncrona como assíncrona. Os visitantes são assistidos por guias virtuais, que são agentes de software que tem a finalidade de monitorar ações dos visitantes. Os agentes utilizam o paradigma de interação chamado improvisação dirigida, que é utilizado para interagir com o visitante. Eles improvisam, enquanto ajudam o visitante, utilizando um grupo de condutas similares às condutas humanas, como satisfação, felicidade e vibração, tornando a interação mais amigável.

Neste sentido, este trabalho apresenta, além de uma abordagem voltada para o aprendizado e a representação personalizada de conteúdo, também apresenta uma abordagem diferenciada para alcançar estes objetivos, que é através da utilização de agentes inteligentes com características pedagógicas, ontologias e um mecanismo de recomendação elaborado

especificamente para recomendar o conteúdo referente às peças do museu de acordo com as características de cada visitante.

3.2 AGENTES DE SOFTWARE E SISTEMAS MULTIAGENTE

De um modo geral, os agentes de software são aplicados na resolução de problemas para os quais não se conhece um algoritmo exato. As aplicações que fazem o uso de agentes de software têm crescido bastante nos últimos anos, sendo utilizados principalmente em: aplicações na Web, desenvolvimento de jogos, construção de simuladores e aplicações da área médica (para monitoramento de pacientes e desenvolvimento de sistemas tolerantes a falhas) e doméstica. Além disso, agentes de software podem realizar diversas tarefas em ambientes de aprendizagem, tais como monitorar as atividades do estudante, capturar dinamicamente informações do estudante, recomendar conteúdos de interesse deste, dentre outras atividades (ARTERO, 2009).

O conceito de AICPs tem sido um importante tema de pesquisa por um longo tempo. As pesquisas voltadas para AICP tem apoio principalmente das pesquisas em sistemas multiagente. AICP tem como vantagem a oferta de instruções personalizadas, aumento motivacional do usuário do sistema, e permite agir pedagogicamente com o aluno. Por outro lado, os ambientes virtuais agregam valor para o processo de educação, criando novas possibilidades educacionais. Assim, a partir da combinação de AICP e ambientes virtuais de aprendizagem, é possível fazer uma promissora abordagem para a aprendizagem assistida por computador de maneira eficaz.

Desta forma, o artigo descrito por Soliman e Guetl (2010), fornece uma revisão sobre temas relacionados aos AICP e concentra em uma visão geral do tópico, dando uma visão detalhada no domínio de aplicação de ambientes virtuais de aprendizagem, e apresenta uma proposta de uma abordagem conceitual flexível para a aplicação em diferentes contextos de aprendizagem. Desta forma, o trabalho apresentado mostra como é possível melhorar a interação entre usuários e sistemas. Além disso, o uso recente de ambientes virtuais 3D imersivos tem mostrado eficácia na melhoria da motivação para aprendizagem. Portanto, este trabalho mostra que a combinação destas duas abordagens pode fornecer significativas contribuições para resolver a deficiência de interação dos usuários com os ambientes virtuais de aprendizagem. Além disso, o trabalho também cita que a maior parte dos trabalhos que utilizam agentes pedagógicos tem se concentrado no aspecto visual e interface do aluno, como

um personagem. No entanto, existem muitos potenciais na utilização de habilidades sociais, recursos inteligentes de negociação e localização que podem trazer vários cenários de aprendizagem úteis para a colaboração em ambientes virtuais de aprendizagem.

Já Pontes (2010), apresenta uma arquitetura baseada em agentes para suporte à colaboração na aprendizagem baseada em problemas – PBL (Problem-Based Learning) – em ambientes virtuais de aprendizagem, com o intuito de detectar e corrigir problemas inerentes à implantação desta teoria de aprendizagem, melhorando o processo de aprendizagem. A abordagem proposta no trabalho utiliza-se de três tipos de agentes: um agente detector de problemas, um agente estudante e um agente animado de interface.

3.3 WEB SEMÂNTICA

A personalização de conteúdo na educação é um dos temas de pesquisa mais atuais na área de Informática na Educação. Neste contexto, cada aluno tem seu próprio estilo de aprendizagem, que serve para evidenciar a forma como cada aluno adquire conhecimento de forma mais satisfatória. Juntamente com outras tecnologias como, por exemplo, agentes de software, é possível utilizar ontologias para melhorar a personalização em sistemas de aprendizagem através do acompanhamento de atividades dos alunos durante o curso para estimar seu estilo de aprendizagem, fornecendo-lhes objetos de aprendizagem adequados.

A pesquisa apresentada em (DUNG; FLOREA, 2011) concentra-se na busca por alternativas que melhorem a personalização de conteúdos em sistemas de *e-learning* utilizando ontologias e agentes de software. Para isto, foi proposta uma arquitetura de sistema multiagente e uma ontologia associada destinada a apoiar a personalização do conteúdo de acordo com os estilos de aprendizagem de cada aluno.

Rani, Ashok e Palanivel (2009) apresentam uma abordagem para personalização de aprendizagem eletrônica tendo como base as ontologias, na qual a troca de informações é mantida por *web services*, sob uma arquitetura orientada a serviços. A ideia principal desta abordagem é identificar os requisitos do usuário, ou seja, as preferências dos estudantes e suas características, e criar o modelo do estudante. Nesse modelo consta o seu conhecimento expresso através de um conjunto de palavras-chave pertencentes a uma ontologia comum para, de acordo com o modelo de cada estudante, adaptar o curso de forma individual.

Já Bremgartner e Magalhães Neto (2011), propõem a combinação de sistemas tutores inteligentes e o AVA Moodle, através de um sistema multiagente, além de utilizar ontologia para representar o modelo do aluno. Através da interação entre os alunos, o conhecimento é construído de uma forma mais significativa, e isto se deve ao fato de que os alunos a desenvolvem habilidades e competências intra e interpessoal, além de tornarem-se interdependentes. Na aprendizagem colaborativa, os participantes não são apenas responsáveis por aprender o que é ensinado, mas também permite que os outros membros do grupo de alunos aprendam através das interações. Além disso, os agentes de software e ontologias que constituem os pilares da Web Semântica acrescentam ao sistema recursos de recomendação personalizada de conteúdo com uma grande precisão.

3.4 COMPUTAÇÃO GRÁFICA E REALIDADE VIRTUAL

O trabalho apresentado por Falcão e Machado (2010), tem como objetivo apresentar parte do desenvolvimento um museu virtual tridimensional imersivo, interativo e itinerante. O diferencial do mesmo em relação a outros já existentes é a possibilidade do visitante escolher quais obras de arte deseja visualizar enquanto navega no museu. Outra funcionalidade inovadora é a utilização de curadores, com a qual qualquer pessoa que possua uma peça tridimensional no formato X3D pode enviá-la para a base de acervos, tornando-a disponível para exposição no museu. O Museu Virtual Tridimensional 3I (Imersivo, Interativo e Itinerante) é um ambiente virtual que representa um museu virtual com capacidade de manter exposições itinerantes.

No contexto de visualização, sistemas de multiprojeção podem ser considerados para prover o particionamento da representação com abordagens baseadas em hardware ou baseadas em software. O trabalho apresentado por Falcão, Rocha Neto e Machado (2011), tem por objetivo apresentar uma solução de multiprojeção através da integração entre o *browser* Xj3D, para o processamento de ambientes X3D, e a *libGlass*, para clusterização da visualização. O objetivo de integrar a *LibGlass* e o Xj3D foi alcançado. Isto indica que qualquer cena X3D genérica pode ser executada em multiprojeção. Contudo, nesta recompilação do Xj3D com a *LibGlass* apenas a clusterização da visualização foi implementada, ou seja, ambientes virtuais que possuam objetos interativos que envolvam mudança de posição, tamanho, forma, ainda não são suportados. A visualização foi distribuída em três telas, cada uma conectada a um computador diferente, em rede. Neste caso, as

projeções estão configuradas para 60 graus de angulação. É possível navegar pelo ambiente sem a ocorrência de qualquer forma de travamento da aplicação ou descontinuidade da cena. Os resultados podem ser replicados em mais computadores, configurados com diferentes angulações.

A necessidade de preservação do patrimônio histórico, aliada à difusão cultural, tem sido motivadores de projetos que recriam ambientes utilizando técnicas de RV. Por sua vez, o X3D é uma ferramenta que possibilita o desenvolvimento destes ambientes virtuais, além de permitir expandir a representação do real com a inclusão de elementos multimídia, como textos, imagens e sons. O trabalho desenvolvido por Medeiros e Machado (2010) apresenta aspectos da reconstrução virtual de um sítio arqueológico, evidenciando a integração de conteúdo multimídia no ambiente virtual utilizando o X3D. Antes da concepção do cenário, foi feita uma coleta prévia de dados do terreno do sítio e então se deu início o processo de sua modelagem. Para obtenção do relevo do local, partiu-se de um modelo numérico de terreno com informações de altitude do terreno representadas através de curvas de nível. Com o modelo numérico e as curvas de nível utilizou-se um software de modelagem para juntar os pontos e transformá-los em uma malha poligonal. O Blender foi escolhido para esta tarefa, pois, além de ser uma ferramenta de código aberto, possui todas as ferramentas necessárias para a modelagem do ambiente virtual proposto. Outra característica importante na escolha do modelador foi a possibilidade de exportar os modelos em diversos formatos, inclusive no formato X3D. Após a geração da malha do terreno, foram aplicadas as texturas ao modelo exportado e o modelo texturizado também foi testado no browser Xj3D.

3.5 CRIAÇÃO E UTILIZAÇÃO DE PERFIS

Diversos estudos têm sido realizados para a compreensão do aprendizagem do usuário e captura de interesses e perfis em diferentes áreas de pesquisa, tais como recuperação da informação e web mineração. Devido à relevância do assunto, diversas pesquisas tem sido realizadas nos últimos anos para que a recuperação de informação seja mais eficiente e consequentemente melhore a relevância dos documentos recuperados. Interesses dos usuários são modelados a partir do comportamento do usuário e dos dados consultados. Para isso é cada vez mais comum a coleta de dados de maneira explícita e implícita para que seja possível montar um perfil de preferências de cada usuário (ZEB; FASLI, 2011).

Sabendo disso, Billsus e Pazzani (1999) coletaram os dados dos usuário de maneira híbrida para construir o perfil do usuário. Este modelo foi utilizado na filtragem de notícias disponibilizadas aos usuários e leva em consideração o comportamento do usuário a curto prazo e a longo prazo. O método que utiliza o interesses a curto prazo do usuário, leva em consideração o comportamento mais recente do usuário, ao contrário do modelo a longo prazo. Mas embora esta modelo faça um esforço claro para abordar a questão da modelagem de diferentes tipos de interesses dos usuários, carece de flexibilidade, porque não há impacto direto de um tipo de interesse de um usuário para o outro.

Já Lin *et al.* (2007), propuseram um esquema adaptativo para aprender as mudanças de interesses do usuário a partir dos históricos de cliques, e um mecanismo de classificação para ordenar os resultados da pesquisa para cada usuário. Também foram utilizados modelos independentes para os interesses de curto prazo e de longo prazo do usuário para compor o perfil do usuáriol. Uma desvantagem em seu trabalho é que eles usam apenas a coleta explícita de dados do usuário para capturar o comportamento.

Sugiyama, Hatano e Yoshikawa (2004), propuseram a construção de um mecanismo para utilizar o perfil do usuário com base no histórico de navegação do usuário. As preferências de cada usuário são levadas em consideração em dois aspectos, preferências persistentes, ou de longo prazo, e preferências efêmeras, ou de curto prazo. Assim, o mecanismo proposto armazena as preferências de cada usuário utilizando a coleta implícita de informações dos usuários enquanto acessam os documentos na web. O problema com esta abordagem é que o processo de aprendizagem é lento e pode não ser adequados para a adaptação para múltiplos interesses do utilizador.

4 MUSERT

Este capítulo descreve as características do museu virtual em 3D desenvolvido neste trabalho, o qual recebe o nome de Musert. A Seção 7.1 traz uma descrição das principais ferramentas, bibliotecas e frameworks que foram utilizados para o desenvolvimento do museu. A Seção 7.2 traz uma descrição da recomendação personalizada de conteúdo realizada pelo ambiente virtual. A Seção 7.3 apresenta a arquitetura completa do ambiente juntamente com a descrição dos seus principais componentes. A Seção 7.4 mostra detalhes da arquitetura multiagente do ambiente proposto e a modelagem dos agentes que o compõe, além de descrever como é realizada a comunicação entre eles para promover a recomendação personalizada de conteúdo.

4.1 FERRAMENTAS

Para a implementação da infraestrutura de software do museu virtual Musert, foram utilizadas várias bibliotecas, frameworks e ferramentas provenientes de projetos *Open Source*. Diante disso, nas próximas subseções são apresentadas as informações técnicas sobre as principais ferramentas utilizadas, com o intuito de auxiliar o entendimento da arquitetura proposta neste trabalho.

4.1.1 Ferramentas Utilizadas na Modelagem 3D

Existem diversas ferramentas que poderiam ser utilizadas na modelagem do museu. Inicialmente foram escolhidos o padrão X3D e o navegador Xj3D para disponibilizar o conteúdo do museu na Web. O padrão X3D é utilizado para construir ambientes virtuais tridimensionais complexos. É um padrão aberto que permite descrever em um arquivo, formas e comportamentos destes ambientes (MEDEIROS; MACHADO, 2010). Já o Xj3D é um navegador em conformidade com as especificações do X3D, implementando inclusive funcionalidades não especificadas pelo padrão, o que facilita o desenvolvimento de ambientes virtuais 3D com interatividade complexa e alta qualidade gráfica. (FALCÃO; ROCHA NETO; MACHADO, 2011). Embora estas duas tecnologias apresentem características técnicas para o desenvolvimento do trabalho proposto, devido à limitações e dificuldade

relativas a disponibilização do conteúdo na Web, foi utilizada outra ferramenta, o jMonkey Engine.

O jMonkey Engine (jME) foi projetado para ser um motor gráfico de alta velocidade para utilização em tempo real. Com os avanços do hardware gráfico dos computadores, bem como os avanços da linguagem de programação Java, houve uma necessidade de uma biblioteca de jogos baseado em Java. O jME atende esta necessidade e muitas outras pois apresenta um bom desempenho. Ele é um sistema capaz de prover alta renderização baseado em grafos de cenas.

O jME utiliza os recursos mais recentes para aproveitar por completo a capacidade das placas gráficas mais modernas, proporcionando facilidade de uso para o desenvolvimento de jogos e sistemas que utilizam RV. O jME foi projetado com facilidade de uso em mente, mantendo o poder de programação gráfica moderna (JMONKEYENGINE, 2013).

Existem vários softwares disponíveis para o desenvolvimento de aplicações que utilizam recursos de RV, principalmente as ferramentas de modelagem 3D. Um dos softwares mais populares para modelagem 3D é o 3D Max. Mas, para contornar problemas referentes aos custos com licenças, é possível recorrer aos softwares livres. Desta forma, este trabalho faz uso de diversas tecnologias de código aberto e uma delas é a ferramenta de modelagem Blender (PEREIRA, 2008).

A ferramenta Blender 3D é uma poderosa aplicação para modelagem, animação e criação de jogos 3D, sendo também um software livre, distribuído sob a GNU *General Public License*. O Blender concorre diretamente com os populares 3D Max e Maya (PEREIRA, 2008). A simplicidade na sua estrutura lhe agrega uma série de vantagens, tais como: melhor aproveitamento de hardware, rápida instalação, compatibilidade e estabilidade. Inicialmente a interface do Blender pode intimidar o usuário, mas após conhecer seu funcionamento, fica evidente que sua organização auxilia e acelera o desenvolvimento.

O Blender pode ser utilizado em qualquer área que seja necessária a geração de modelos tridimensionais, geração de imagens renderizadas, animação e jogos, como aplicações em arquitetura, *design* industrial, engenharia, animação, produção de vídeo, e desenvolvimento de jogos, graças ao seu motor de jogo embutido. Esta característica pode ser ampliada e agilizada com o uso de *scripts* em Python (BLENDER, 2013). A Figura 15 apresenta um exemplo de objeto 3D construído utilizando a ferramenta Blender.

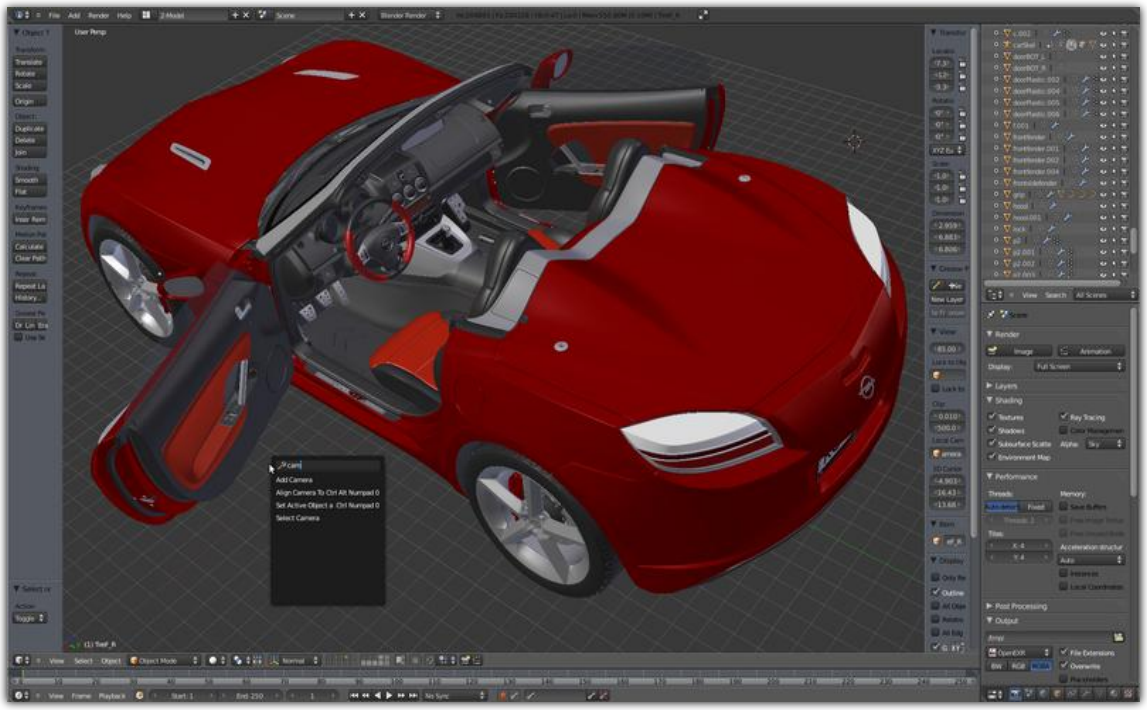


Figura 15 – Modelagem utilizando a ferramenta Blender. Fonte: Extraído de (BLENDER, 2013).

Diante das características apresentadas anteriormente, a ferramenta Blender foi escolhida para ser utilizada neste trabalho, pois além de ser livre, possui todas as ferramentas necessárias para a modelagem de um ambiente virtual com o porte exigido por este projeto.

Para o desenvolvimento do AVA proposto foram estudadas diversas ferramentas e tecnologias. O objetivo principal era permitir a navegação no ambiente virtual, bem como permitir a interação com seus diversos elementos de forma personalizada, utilizando para isso ontologias e agentes de software. Foram consideradas diversas tecnologias e mundos virtuais, como o Second Life (LIU; WANG, 2012) e o OpenSim (RIDGEWELL *et al.*, 2010), pela facilidade de tratamento gráfico, navegabilidade e interatividade. Entretanto, além da necessidade de disponibilização do conteúdo na Web, a recomendação de conteúdo de forma personalizada exige a utilização de tecnologias específicas e, por esta razão, para este trabalho foi escolhido o jMonkey Engine (jME), que é um motor gráfico com um grafo de cena integrado. O jME foi desenvolvido inteiramente utilizando a linguagem de programação Java e usa uma camada de abstração para se comunicar nativamente com o hardware da plataforma (JMONKEYENGINE, 2013).

O jMonkeyEngine, usa Java para programação de simulações porque a linguagem Java, além de fácil utilização, é uma linguagem poderosa para o desenvolvimento de simulações em tempo real (SILVA JÚNIOR *et al.*, 2009). Como todo o projeto é baseado na utilização de ferramentas e tecnologias que utilizam a linguagem Java, o jMonkeyEngine foi escolhido devido a compatibilidade com todas as outras tecnologias utilizadas no projeto.

Os objetivos da maioria dos ambientes virtuais tridimensionais são de prover ao usuário um grau de imersão, ou pelo menos a sensação, que o faça esquecer que está em uma simulação. Seja na representação de ambientes reais ou imaginários, tais mundos possuem alto grau de complexidade para representar os comportamentos dos mesmos (FALCÃO; MACHADO, 2010).

4.1.2 JADE

O JADE (*Java Agent Development Framework*) consiste em uma plataforma completa para desenvolvimento e execução de sistemas multiagente. Trata-se de um middleware para o desenvolvimento de sistemas multiagente distribuídos. Com base nisso, tanto a inteligência, iniciativa, informações, recursos e o controle em geral dos agentes podem ser completamente distribuídos em terminais móveis, bem como sobre computadores na rede fixa. O ambiente pode evoluir dinamicamente com os agentes, que podem ser requisitados pelo sistema de acordo com as necessidades e as exigências da aplicação (BELLIFEMINE *et al.*, 2003).

O middleware JADE é completamente compatível com as especificações FIPA (FIPA, 2013). Como consequência, os agentes podem interagir com outros agentes, desde que obedeçam ao mesmo padrão. Além disso, fornece um conjunto homogêneo de APIs (*Application Programming Interfaces*) que são independentes do tipo de rede utilizada e da versão Java. Outro fator bastante relevante é a complexidade do middleware, que é camuflada por um conjunto simples e intuitivo de APIs. Desta forma, os programadores não precisam programar para utilizar todos os recursos básicos fornecidos pelo middleware. Recursos que não são pertinentes à lógica da aplicação e que são imprescindíveis para o funcionamento básico de qualquer sistema, não necessitam do conhecimento dos programadores, nem adicionam qualquer sobrecarga computacional (BELLIFEMINE *et al.*, 2003).

O framework ainda inclui as bibliotecas necessárias para desenvolver aplicativos e agentes no ambiente em tempo de execução e fornece serviços que devem estar ativos no dispositivo antes de os agentes serem executados. Cada instância do JADE, em tempo de execução, é chamada de contêiner, uma vez que contém agentes. O conjunto de todos os contêineres é chamado de plataforma e fornece uma camada homogênea (BELLIFEMINE *et al.*, 2003). A Figura 16 apresenta a arquitetura geral do framework JADE.

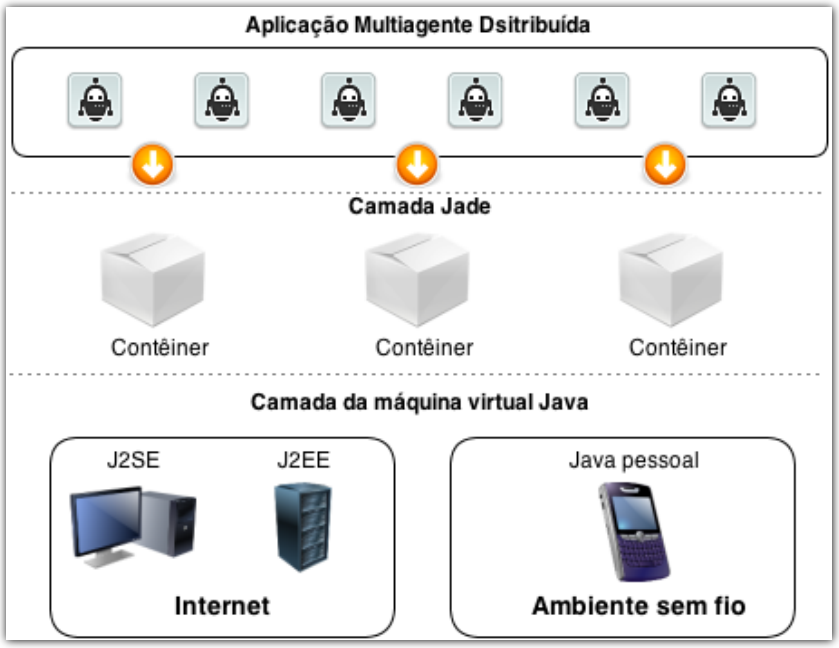


Figura 16 – Arquitetura do framework JADE. Fonte: Adaptado de (BELLIFEMINE *et al.*, 2003).

A comunicação entre os agentes, independentemente das atividades que eles estão executando na rede, é completamente simétrica. O sistema de transporte de mensagens possui diversas características e, do ponto de vista da aplicação, cada agente é identificado por um nome único, o que possibilita um conjunto de serviços. Cada agente pode se cadastrar e modificar os seus serviços, além de pesquisar por agentes que prestam serviços de dados, controlar o seu ciclo de vida e, em particular, comunicar com todos os outros agentes. Desta forma, os agentes se comunicam através da troca de mensagens assíncronas, enviando apenas uma mensagem para um destino. Os agentes são identificados por um nome, não havendo a necessidade de referência do objeto de destino para enviar uma mensagem e, como consequência, não há nenhuma dependência temporal entre os agentes que se comunicam (BELLIFEMINE *et al.*, 2003).

Apesar da utilização deste tipo de comunicação, o JADE fornece mecanismos adequados para autenticar e verificar direitos atribuídos aos agentes. Apenas quando necessário, uma aplicação pode verificar a identidade do remetente de uma mensagem e impedir ações. Todas as mensagens trocadas entre os agentes são realizadas dentro de um envelope, incluindo apenas as informações exigidas pela camada de transporte. A estrutura de uma mensagem deve estar em conformidade com o ACL (FIPA, 2013), linguagem definida pela FIPA. Ao usar esses recursos, os programadores podem se livrar do fardo de lidar com problemas de sincronização, limitações temporais, condições de erro e, em geral, todos os aspectos que não estão estritamente relacionadas com a lógica da aplicação, isso tudo com o

intuito de facilitar a criação e manipulação de mensagens (BELLIFEMINE *et al.*, 2003; FIPA, 2013).

Em síntese, o framework JADE consiste em uma plataforma completa para desenvolvimento e execução de sistemas multiagente. Este framework Java permite desenvolver sistemas multiagente e aplicações de acordo com os padrões FIPA para agentes inteligentes. Além disso, também possui uma interface gráfica que pode ser utilizada durante as fases de desenvolvimento e de teste dos agentes.

4.1.3 Protégé

Protégé é um ambiente extensível e multiplataforma utilizado para a criação e edição de ontologias e bases de conhecimento. É uma ferramenta livre e de código aberto que fornece um amplo conjunto de ferramentas para a construção de modelos de domínio e conhecimento com aplicações baseadas em ontologias. Na sua essência, implementa um rico conjunto de conhecimentos de modelagem de estruturas e ações de apoio à criação, visualização e manipulação de ontologias em vários formatos de representação. Além disso, pode ser personalizada para fornecer um domínio amigável para apoiar a criação de modelos de conhecimento e inserção de dados (IVANOVA, 2011).

Há várias características que distinguem a ferramenta Protégé de outras ferramentas de edição de base conhecimentos. A ferramenta Protégé, é intuitiva e possui interface gráfica do usuário fácil de usar, além de possuir uma boa escalabilidade (IVANOVA, 2011).

Neste trabalho foi utilizado o editor Protégé-OWL, que permite aos usuários construir ontologias para a Web Semântica, utilizando a Web *Ontology Language* (OWL). Uma ontologia OWL pode incluir descrições de classes, propriedades e suas instâncias, além de descrever os conceitos e relações que são importantes em um domínio particular, proporcionando um vocabulário para esse domínio, bem como uma especificação computadorizada do significado dos termos utilizados no vocabulário. Ontologias estão se tornando cada vez mais utilizadas em aplicações tais como portais de conhecimento científico, gestão da informação e integração de sistemas, comércio eletrônico e serviços de web semântica (IVANOVA, 2011).

4.1.4 StarUML

O StarUML (STARUML, 2011) é um projeto *Open Source* cujo intuito é disponibilizar uma ferramenta de modelagem de software e uma plataforma que possa servir como alternativa de utilização em relação às ferramentas UML comerciais. O StarUML permite que sejam utilizadas várias linguagens para desenvolvimento de módulos para a ferramenta. Em Morais II (2010), foi proposta uma extensão para o StarUML para auxiliar o projeto de sistemas multiagente utilizando a metodologia MAS-CommonKADS+. Toda a modelagem realizada no presente trabalho foi criada através dessa extensão.

4.2 MUSERT

Atualmente, vários esforços têm sido feitos para utilizar os avanços da computação para o aprendizado humano. Os AVAs, por estenderem o ambiente educacional físico, integram vários recursos educacionais para o aluno, incluindo material didático multimídia, ferramentas de comunicação e mecanismos de recomendação. Em um AVA, os alunos não são influenciados por restrições de tempo ou espaço. Assim, os AVAs em 3D acrescentam a visualização 3D e a capacidade do aluno navegar no ambiente virtual utilizando técnicas de RV. A visualização do espaço de aprendizagem e interação com outros alunos a partir do ambiente 3D fornece novas possibilidades de cenários de aprendizagem que antes não existiam. Com base nisso, várias entidades educacionais e pesquisadores em educação têm reconhecido a importância de ambientes 3D para fins educacionais (SOLIMAN; GUETL, 2011).

A partir da utilização dos AVAs 3D é possível que o aluno tenha uma grande flexibilidade, diante das inúmeras oportunidades de aprendizagem e, portanto, essa vertente requer um suporte inteligente e uma orientação satisfatória. O uso de AICPs é uma boa alternativa para cumprir tais exigências e, portanto, estes agentes estão sendo bastante investigados. AICPs podem atuar como um professor, tutor, ou até mesmo como um estudante virtual na realização de atividades em ambientes colaborativos. Um AICP pode ser utilizado para: (i) orientar o aluno no ambiente virtual, (ii) explicar tópicos, (iii) fazer perguntas, e, principalmente, (iv) proporcionar um suporte à aprendizagem personalizada, interagindo com o aluno em momentos e lugares diferentes no ambiente virtual (SOLIMAN; GUETL, 2010).

Mas o bom desempenho dos agentes que compõem o AVA depende de um mecanismo para a representação do conhecimento. Uma ontologia pode ser utilizada em ambientes de aprendizagem para a representação de conceitos e modelos inerentes a estes ambientes (PONTES, 2010). A partir de uma ontologia, é possível modelar diversos conceitos de um AVA, como modelo do estudante, modelo pedagógico, modelo de colaboração e o próprio modelo de domínio. As ontologias podem ser utilizadas com diversas finalidades em AVAs, sendo uma das aplicações desta tecnologia a personalização de ambientes de aprendizagem, utilizando para isso as características específicas do perfil de cada usuário. A ideia principal desta abordagem é identificar os requisitos do usuário, ou seja, as preferências do estudante e suas características, e criar o modelo do estudante. Nesse modelo constará o conhecimento expresso sobre o estudante para que de acordo com o modelo de cada estudante, e a partir da inferência realizada pelos agentes presentes no AVA, seja possível adaptar o curso de forma individual (RANI; ASHOK; PALANIVEL, 2009).

Assim, este trabalho propõe a criação de um AVA 3D, mais especificamente um museu virtual em 3D, com o nome de Musert. Este museu tem a proposta de apresentar várias peças características do nordeste brasileiro com o intuito de difundir a cultura desta região, que embora seja rica não é muito conhecida pelos próprios brasileiros. A figura 17 mostra uma peça real em estágio de modelagem para ser utilizada no Musert.

Figura 17 – Peça do museu em etapa de modelagem. Fonte: Autoria Própria.

Além disso, propõe a criação de um mecanismo de recomendação para que a descrição das peças seja feita de maneira conveniente de acordo o interesse de cada usuário a partir da avaliação de seu perfil. Para isso, utiliza tecnologias como ontologias, para a representação das características de cada usuário, e agentes de software, na realização de inferência a partir do perfil de cada usuário, para que a descrição e a recomendação das peças, durante visitação

virtual, sejam feitas de acordo com o perfil de cada usuário, proporcionando uma melhor aprendizagem ao visitar cada peça do museu. A Figura 18 mostra a interação entre o visitante e o Musert.

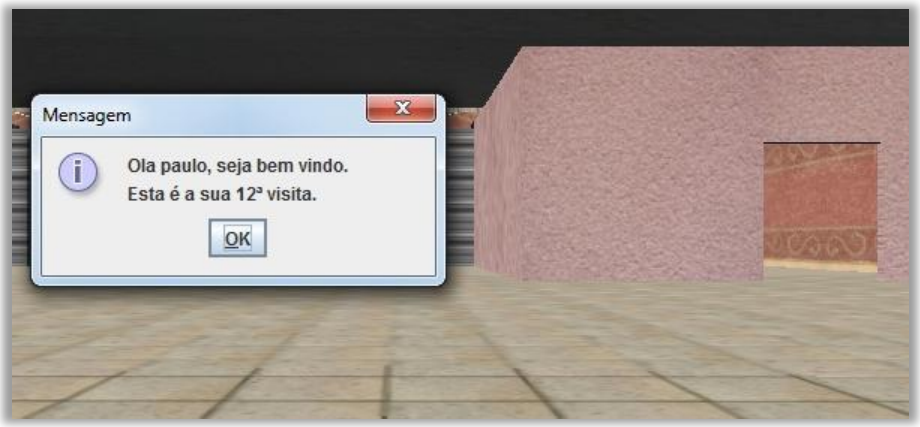


Figura 18 – Interação entre visitante e museu. Fonte: Autoria Própria.

4.3 ARQUITETURA

Para entender melhor sobre como funciona a aplicação proposta neste trabalho, a Figura 19 apresenta a arquitetura geral do ambiente desenvolvido.

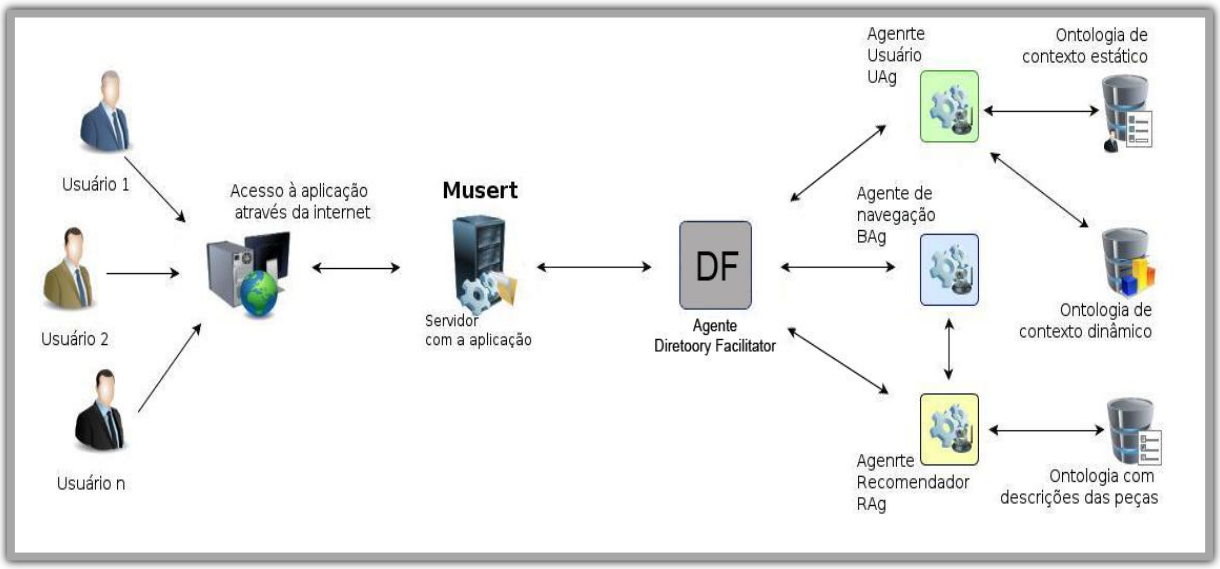


Figura 19 – Arquitetura geral do Musert. Fonte: MOURA *et al.* 2012b.

A Figura19 ilustra uma perspectiva geral dos processos de funcionamento do museu. Assim, inicialmente há a autenticação do visitante junto ao museu. Após a autenticação, a visualização das descrições das peças é acionada a partir da aproximação do visitante aos sensores das peças, que ficam localizados em locais pré-determinados do museu. Antes disto,

caso seja o primeiro acesso, o visitante precisa realizar um cadastro para que suas características pessoais sejam armazenadas na ontologia de contexto estático, que contém informações como, por exemplo, nome, idade e escolaridade. Além desta ontologia, há a ontologia de contexto dinâmico, que é responsável por armazenar informações como quantidade de visitas, peças e salas visitadas, dentre outras informações de caráter dinâmico que representam a interação do visitante com o ambiente virtual. Os principais componentes dessa arquitetura são:

- SMA: Arquitetura de agentes criada para dar maior autonomia ao sistema e possibilitar a recomendação das descrições das peças de forma automática.
- Ontologia de Contexto Estático: É a ontologia utilizada para armazenamento e consulta das informações que são fornecidas manualmente pelos estudantes, como, por exemplo, grau de instrução e tópicos de interesse.
- Ontologia de Contexto Dinâmico: É a ontologia utilizada para armazenamento e consulta das informações capturadas em tempo de execução através de um dos agentes da arquitetura multiagente. São informações como as peças que já foram visitadas e a quantidade de visitas ao museu, além de informações de preferências capturadas dinamicamente pelo SMA, as quais podem divergir das informações do contexto estático do estudante.
- Ontologia com Descrição das Peças do Museu: É o repositório utilizado para o armazenamento das descrições das peças apresentadas no museu. Cada peça possui várias descrições que são recomendadas de acordo com a necessidade de cada usuário.

4.3.1 Mecanismo de Recomendação

Para alcançar o objetivo almejado por este projeto, foi necessário utilizar um mecanismo de recomendação bem definido. Desta forma, a primeira descrição das peças a serem recomendadas deve ser compatível com o nível de conhecimento fornecido pelo visitante em seu perfil, enquanto que o nível de detalhamento das descrições posteriores das peças dependerá da interação do visitante com as peças visitadas anteriormente.

Outro fator a ser observado é que o bom desempenho dos agentes que compõem o sistema depende diretamente de um mecanismo eficiente para a representação do conhecimento. Assim, o mecanismo de recomendação desenvolvido considera as informações do perfil do visitante, como, por exemplo, idade, escolaridade, conhecimento sobre o tema do

museu, dentre outras, contidas na ontologia de contexto estático, além da quantidade de visitas e as últimas peças visitadas, as quais estão contidas na ontologia de contexto dinâmico. Estas informações são ponderadas de acordo com as descrições disponíveis para cada peça e são utilizadas também para sugerir a ordem da visita e que peças devem ser visitadas, levando em consideração as atividades de usuários com perfis semelhantes. Com base nisto, objetiva-se alcançar uma recomendação eficiente do conteúdo descritivo das peças do museu.

Desta forma, a recomendação de conteúdo relativa às peças do museu desenvolvido neste trabalho, leva em consideração alguns aspectos. O primeiro deles é idade do visitante. Assim, por motivos de classificação, foram adotados três níveis com três faixas etárias, com o intuito de representar níveis de conhecimento relativos às crianças, adolescentes e adultos. As faixas etárias consideradas foram:

- Nível 1: visitantes com idades inferiores a 12 anos de idade, representando crianças como usuários. A partir desta faixa etária, os agentes buscam recomendar conteúdos lúdicos e que esclareçam questionamentos compatíveis também com o nível de conhecimento.
- Nível 2: visitantes com idades inferiores a 18 anos e superiores a 12 anos, representando usuários adolescentes. A partir desta faixa etária, os agentes buscam recomendar conteúdos com alguns aspectos lúdicos, mas significativamente inferiores a faixa etária inferior, e que esclareçam questionamentos compatíveis também com o nível de conhecimento. Além disso, são acrescido alguns detalhes técnicos e históricos.
- Nível 3: visitantes com idades superiores a 18 anos, representando adultos em geral. A partir desta faixa etária, os agentes buscam recomendar conteúdos com aspectos mais técnicos e profundo esclarecimento de dados históricos relativos à peça. Além dos detalhes técnicos e históricos com maior profundidade, também são acrescidas fontes externas para.

Além de levar em consideração os fatores relativos à faixa etária, o mecanismo de recomendação também leva em consideração a quantidade de visitas ao museu, representando o nível de experiência do visitante na utilização do ambiente virtual. Desta forma, a medida que o visitante visita o museu, seu nível de experiência aumenta e permite que o nível de especificidade do conteúdo recomendado seja acrescido.

Além de ter a preocupação de recomendar de maneira satisfatória o conteúdo referente a cada peça do museu, o sistema de recomendação também apresenta informações sobre o próprio museu, salas e peças que já foram visitadas. A partir do tratamento destes dados pelo sistema, é possível recomendar peças que ainda não foram visitadas assim como salas e recomendar caminhos de navegação pelo museu para visita das peças recomendadas.

4.4 SISTEMA MULTIAGENTE

A organização do SMA desenvolvido neste trabalho é do tipo comunidade de especialistas, pois cada um dos quatro tipos de agentes criados para este trabalho encontra-se no mesmo nível, sendo cada um deles especialista em determinada tarefa. Os agentes interagem entre si através de um protocolo de comunicação previamente estabelecido. Para o desenvolvimento dos agentes, foi utilizado o framework JADE e os agentes executam sob sua plataforma.

Como é possível visualizar na Figura 19, o SMA é composto de quatro tipos de agentes: Agente Usuário (*User Agent* - UAg), Agente Recomendador (*Recommender Agent* - RAg), Agente de Navegação (*Navigation Agent* – NAg) e Agente DF (*Directory Facilitator*).

O UAg é responsável por monitorar as atividades dos visitantes do museu, atualizar e recuperar, das ontologias de contexto estático e dinâmico, as preferências de aprendizagem que compõem os perfis dos visitantes e seus respectivos históricos de descrições de peças recomendadas. O comportamento do UAg é voltado para monitoramento das informações relativas aos visitantes a partir do momento de sua autenticação no sistema. Em seguida, todas essas informações são cadastradas no agente DF.

O RAg tem o intuito de detectar as descrições das peças que são adequadas ao perfil do visitante, levando em consideração as informações consultadas no agente DF e as descrições das peças e das salas existentes no museu. Após identificar as descrições adequadas, o RAg cadastra, no Agente DF, as novas informações, as quais servirão ao NAg.

O NAg interage diretamente com os sensores de proximidade presentes por todo o museu, principalmente nas peças. A partir da aproximação de um visitante a uma peça, o sensor percebe a intenção do visitante em obter informações sobre ela. Após isso, o NAg

gerencia a disponibilização do conteúdo juntamente com os outros agentes através de consultas ao Agente DF .

O agente DF provê, para os outros agentes, o serviço de páginas amarelas. Esse serviço consiste em uma lista de todos os agentes e os respectivos serviços oferecidos por eles. Todo agente que desejar publicar seus serviços para outros agentes deve encontrar um agente DF apropriado e requisitar o registro de sua descrição de serviço. Além disso, os agentes podem retirar e modificar o seu próprio registro de um DF e buscar neste, de acordo com um critério de busca, por um registro de serviço fornecido por outro agente. Esse componente é de extrema importância para o SMA proposto.

Desta forma, essas informações fornecem uma noção de como foi criada a arquitetura deste trabalho. Porém, são necessárias maiores informações de como essa arquitetura foi modelada em detalhes. A próxima subseção apresenta a modelagem do SMA proposto nesse trabalho, seguindo os passos estabelecidos pela metodologia MAS-CommonKADS+.

4.4.1 Modelagem do SMA

Seguindo a abordagem da metodologia MAS-CommonKADS+, essa subseção apresenta a modelagem do SMA desenvolvido neste trabalho. Contudo, foram adotados somente os diagramas dos respectivos modelos que são realmente necessários para a compreensão da arquitetura multiagente proposta, isso porque alguns diagramas forneciam informações que se tornam redundantes. A escolha dos modelos a serem inseridos na modelagem depende do tamanho e da complexidade do SMA modelado. Desta forma, baseado nas necessidades do Musert, o SMA que o compõe deve realizar um série de tarefas, as quais podem ser observadas no Modelo de Tarefas exibido na Figura 20.

A tarefa principal deste SMA é a recomendação de conteúdo referente à descrição das peças expostas no museu. Essa tarefa, por sua vez, foi decomposta em outras subtarefas, que têm como intuito final auxiliarem no cumprimento da tarefa principal.

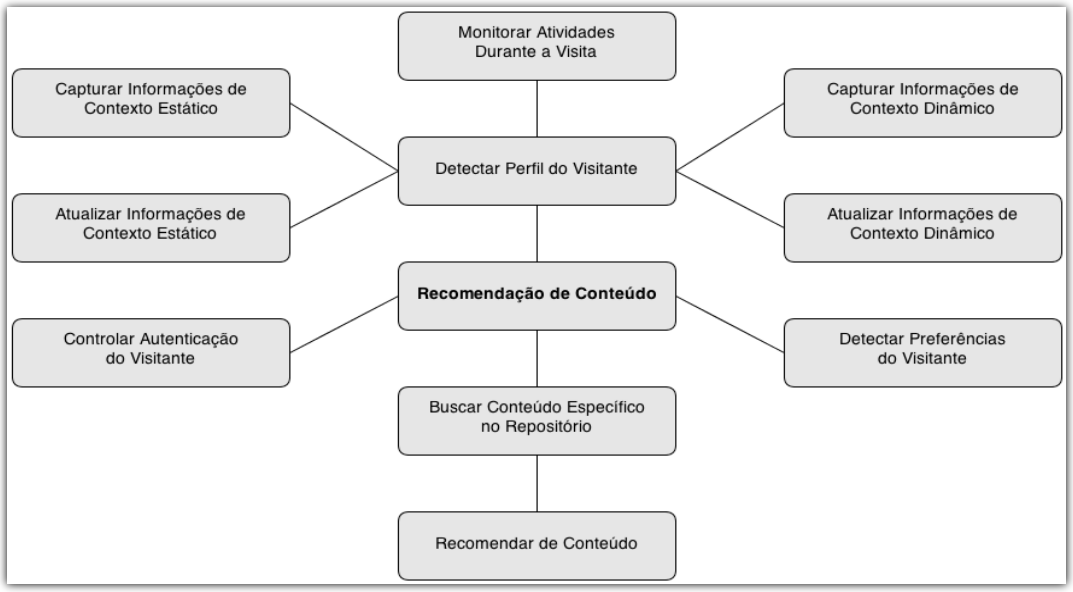


Figura 20 – Modelo de Tarefas. Fonte: MOURA et al. 2012c.

O próximo passo consiste em definir os papéis que cada agente irá realizar no sistema, visto que um único agente pode ser responsável por vários papéis em um SMA. O modelo de papéis tem como objetivo a identificação dos papéis do sistema e a representação das atividades descritas no modelo de tarefas. Um papel é uma abstração que define as tarefas que um agente deve realizar dentro de uma organização. Um único agente pode ser responsável por vários papéis em um sistema. Logo, a inclusão deste modelo é de extrema relevância, pois permite modelar os vários papéis que um agente pode exercer. Na Figura 21 é possível perceber que foram definidos três tipos de papéis para atender às tarefas inerentes ao Modelo de Tarefas: visitante, recomendador e navegador.

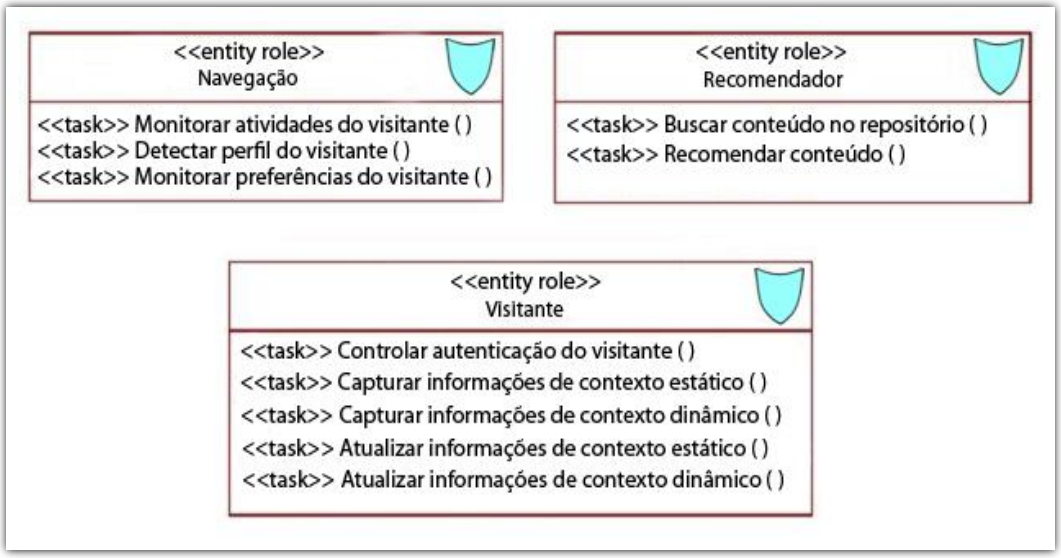


Figura 21 – Modelo de Papéis. Fonte: MOURA *et al.* 2012c.

Apesar de ser possível que cada agente possa realizar mais de um papel, para simplificar o entendimento e distinguir bem as atividades de cada agente, decidiu-se de que cada um desses papéis será realizado por um agente. Uma vez construído o Modelo de Papéis, deve ser desenvolvido o Modelo de Organização, que serve para descrever a estrutura organizacional dos papéis no sistema, ou seja, como os papéis estão relacionados entre si. A Figura 22 mostra o Modelo de Organização correspondente aos papéis exibidos na Figura 21.

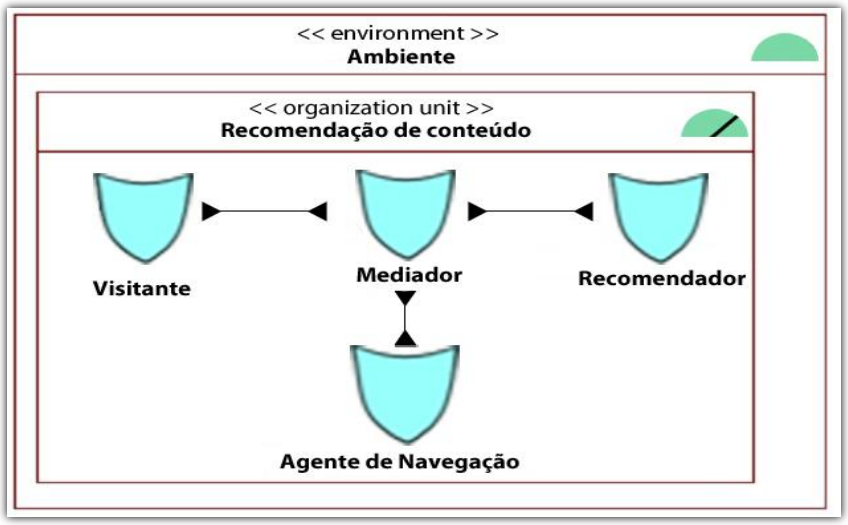


Figura 22 – Modelo de Organização. Fonte: MOURA *et al*. 2012c.

Nesse modelo é possível perceber a presença de outro papel, o mediador. O mediador permitirá que os agentes se comuniquem sem que, inicialmente, eles se conheçam. O motivo dele não fazer parte do Modelo de Papéis é que o mesmo não realiza tarefas que compõem a finalidade principal do SMA, ou seja, não realiza uma das tarefas que compõem o Modelo de Tarefas. Mesmo assim, essa tarefa é de extrema relevância, pois é através dela que os agentes conseguem informações a respeito dos serviços de outros agentes e conseguem se comunicar uns com os outros. Ou seja, ele funciona como um agente intermediário, permitindo que os agentes cadastrem informações e que pesquisem por informações de outros agentes. O papel do mediador será realizado pelo agente *Directory Facilitator* (DF), o qual é provido pela própria plataforma JADE. É necessário apenas codificar a forma como os agentes criados no SMA irão se comunicar com o DF. Além destes detalhes, é necessário que se tenha uma visão do comportamento dinâmico do SMA, o que é possível conseguir através do Modelo de Interação. O modelo de interação consiste na junção dos modelos de coordenação e de comunicação da MAS-CommonKADS. Nele são descritas, através da AML, todas as interações entre os agentes. Cada interação deve obedecer a um protocolo de interação, o qual estabelece como os agentes podem se comunicar. A Figura 23 mostra o modelo de interação entre os agentes que compõem o SMA proposto.

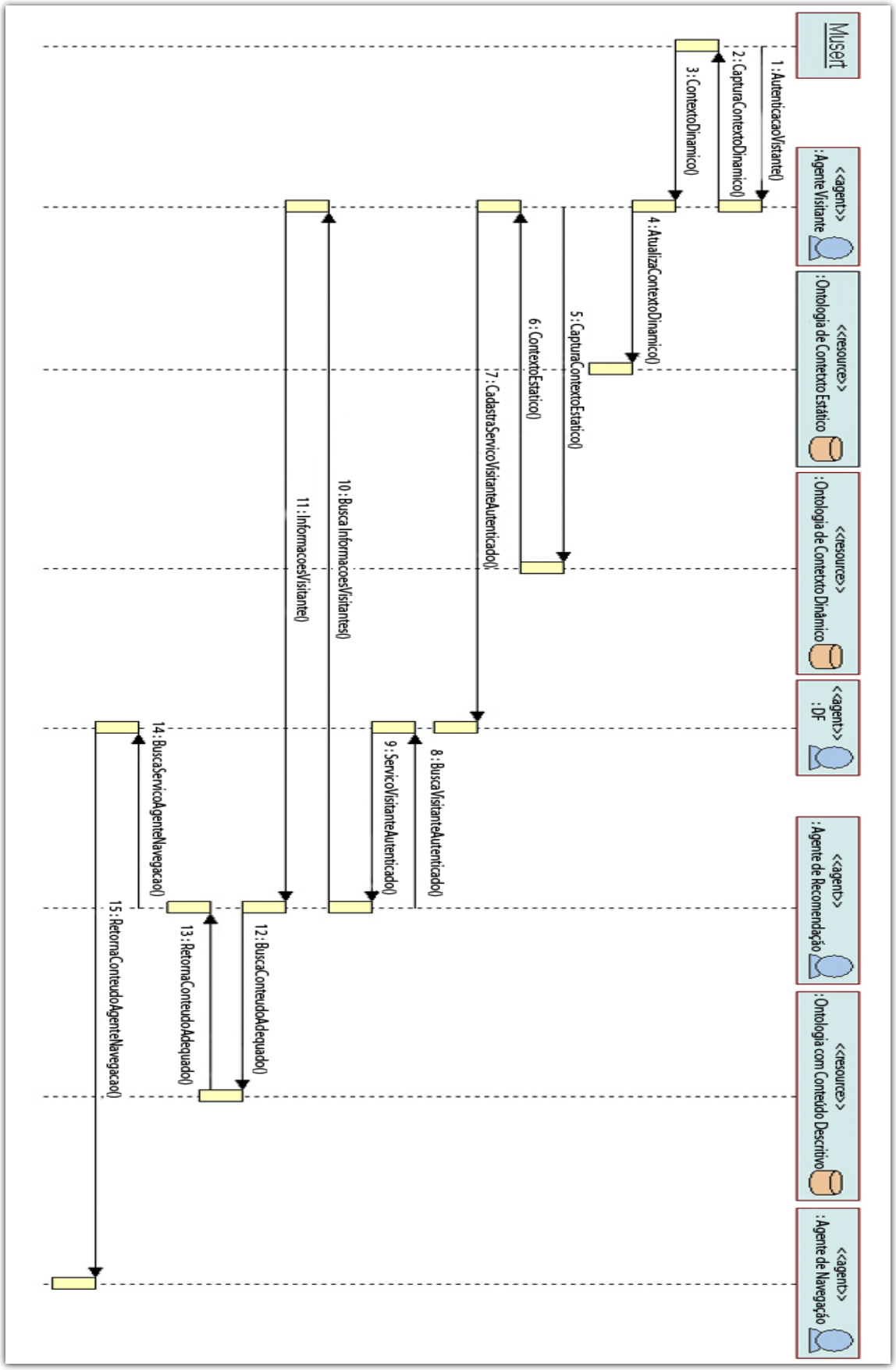


Figura 23 – Modelo de Interação entre os agentes que compõem o Musert. Fonte: MOURA *et. al*, 2012c.

No modelo apresentado na Figura 23, é possível visualizar toda a interação que ocorre entre os agentes e os recursos que são consultados pelos quatro agentes que compõem o sistema. O diagrama mostra desde o comportamento do UAg no momento em que o visitante se autentica no Musert até a informação chegar ao RAg, que irá buscar pelo conteúdo que mais se adéqua ao perfil do visitante. Também é possível perceber que as informações de contexto estático e dinâmico do estudante precisarão ser armazenadas. Uma forma possível de se armazenar essa informação seria com a utilização de um banco de dados. Porém, o uso de uma ontologia para a representação desse conhecimento mostra-se como uma alternativa mais útil, visto que esse conhecimento pode ser utilizado por outras partes da aplicação e, caso seja necessário modificar o comportamento desta, pode-se criar uma nova forma de representar a ontologia, sem modificar a codificação em si. Assim, é por este motivo que estão sendo utilizadas duas ontologias, sendo uma para representação do contexto estático e outra para representação do contexto dinâmico do estudante.

4.4.2 Modelo do Agente Usuário

O UAg realiza, como mencionado anteriormente, o papel do visitante. A Tabela 3 mostra o seu modelo textual.

Tabela 3 – Modelo textual do Agente Usuário – Uag. Fonte: Autoria própria.

Agente	**Agente Usuário – UAg**
Objetivo	Monitorar informações do visitante, capturando o seu contexto, e cadastrando junto ao Agente DF um serviço que caracteriza a autenticação do visitante junto ao sistema, para que assim o Agente de Recomendação (RAg) possa utilizar essas informações.
Parâmetros de Entrada	Dados de identificação do estudante no sistema.
Parâmetros de Saída	Dados relativos ao contexto do estudante.
Condição de Ativação	A ativação deste agente está condicionada a autenticação do visitante no sistema. Desta forma, assim que o usuário inicia a visitação ao museu, este agente inicia sua atividade.
Condição de Finalização	A finalização das atividades deste agente é executada após a comunicação com o Agente de Recomendação (RAg) através do envio de informações sobre contexto do estudante.
Descrição	O comportamento deste agente é totalmente voltado para monitoramento das atividades dos visitantes do museu. Ele recupera e atualiza, nas ontologias apropriadas, as informações de preferências de aprendizagem dos perfis dos visitantes.

A Figura 24 mostra o trecho do código-fonte do UAg responsável por recuperar informações do visitante do museu.

```
//IndivVI guardará todos os dados do visitante
VisitanteInfo indivVI = new VisitanteInfo();
while(individualDin.hasNext()) {
    OntResource indivDin = (OntResource) individualDin.next();
    if(indivDin.getProperty(loginDin).getString().equals(indiv.getProperty(login).getString())) {
        //incrementa o numero de visitas ao museu
        visitas = indivDin.getProperty(NumVisitas).getInt() + 1;
        Literal lit = modelDinamico.createTypedLiteral(visitas);
        indivDin.setPropertyValue(NumVisitas, lit);
        indivVI.setNumVisitas(indivDin.getProperty(NumVisitas).getInt());

        try {
            modelDinamico.write(new FileOutputStream("ontologias\\VisitanteDinamico.owl"),"RDF/XML-ABBREV");
        }
        catch (FileNotFoundException ex) {
            Logger.getLogger(VisitanteOntology.class.getName()).log(Level.SEVERE, null, ex);
        }
    }
}
//guardando os dados obtidos na ontologia em indivVI
indivVI.setLogin(indiv.getProperty(login).getString());
indivVI.setSenha(indiv.getProperty(senha).getString());
indivVI.setNome(indiv.getProperty(nome).getString());
indivVI.setIdade(indiv.getProperty(idade).getInt());
indivVI.setPeca(indiv.getProperty(peca).getString());
indivVI.setIndividuo(indiv.asIndividual());
//passando o individuo contendo todos os dados do visitante para o agente
agent.setDadosDoVisitante(indivVI);
```

Figura 24 – Trecho de código-fonte do UAg que recupera informações do visitante. Fonte: Autoria Própria

Inicialmente, o UAg recebe as informações de identificação que são *login* e senha. Após ser autenticado no sistema, o agente instancia as informações da ontologia de contexto estático do estudante. Em seguida, o UAg captura as informações de contexto dinâmico que permite que sua visita no museu seja personalizada e possa ser iniciada. A finalização das atividades deste agente é executada após o envio de informações sobre contexto do estudante e o registro do seu serviço no Agente DF.

4.4.3 Modelo do Agente de Navegação

A Tabela 4 mostra o modelo textual do Agente de Navegação, onde são apresentadas suas características principais.

Tabela 4 - Modelo textual do Agente de Navegação – Nag. Fonte: Autoria Própria.

Agente	Agente de Navegação – NAg
Objetivo	Monitorar as atividades do visitante, detectando sua aproximação junto às peças do museu. Além disso, cadastra junto ao Agente DF um serviço que caracteriza a aproximação do visitante a uma peça ou ponto específico do museu, mostrando a intenção de obter informações descritivas sobre a peça ou sala que está sendo visitada, para que assim o Agente de Recomendação possa utilizar essas informações.
Parâmetros de Entrada	Confirmação da aproximação do visitante aos sensores presentes no museu.
Parâmetros de Saída	Dados sobre a peça ou local de aproximação.
Condição de Ativação	Aproximação do visitante a um sensor.
Condição de Finalização	A finalização das atividades deste agente é executada após a comunicação com o Agente de Recomendação (RAg) através do envio de informações sobre a intenção do visitante em obter informações sobre a peça em que houve a aproximação.
Descrição	O comportamento deste agente é voltado para monitoramento da navegação e aproximação dos visitantes às peças e salas do museu. Ele detecta a aproximação e entende como a intenção do visitante em receber informações sobre determinado ponto. Desta forma, envia os dados referentes a este ponto para que o Agente de recomendação (RAg) possa disponibilizar o conteúdo adequado para o visitante.

O NAg interage diretamente com os sensores de proximidade presentes por todo o museu, principalmente nas peças. Após obter as informações do usuário através do Agente DF, o NAg gerencia a disponibilização do conteúdo juntamente com o Agente de Recomendação (RAg) através de consultas ao Agente DF.

4.4.4 Modelo do Agente de Recomendação

A recomendação dos conteúdos referentes às peças do Musert, que é efetuada, principalmente, pelo RAg, ocorre levando-se em consideração o resultado da análise das características do visitante e suas últimas atividades no museu. A Tabela 5 apresenta o modelo de RAg.

Tabela 5 – Modelo textual do Agente de Recomendação - Rag. Fonte: Autoria Própria.

Agente	Agente de Recomendação – RAg
Objetivo	Monitorar os serviços dos Agente Usuário e Agente de Navegação (NAg), cadastrados junto ao Agente DF, para disponibilizar ao usuário as informações relativas à peça levando em consideração o perfil do visitante.
Parâmetros de Entrada	Informações cadastradas pelo UAg e NAg no Agente DF, descrições das peças disponíveis no repositório de descrições de peças e as informações do perfil do usuário.
Parâmetros de Saída	Descrições das peças ou pontos específicos do museu que são adequados ao perfil do visitante.
Condição de Ativação	A condição de ativação deste agente depende do cadastro de serviços pelo UAg e pelo NAg junto ao Agente DF.
Condição de Finalização	A sua atividade finaliza assim que o agente recebe as informações dos serviços cadastrados junto ao Agente DF e disponibiliza para o usuário a descrição da peça ou local específico do museu, tem fim a sua atividade.
Descrição	O comportamento deste agente é caracterizado pela disponibilização do conteúdo descritivo das peças e de pontos importante do museu para o visitante.

A Figura 25 mostra o comportamento do RAg responsável por verificar o nível do visitante para que seja possível recomendar o conteúdo de acordo com o perfil do visitante.

```
//verificando se é uma mensagem sobre uma peça
if(message != null && message.getConversationId().equals("acervo")) {
    try {
        SerializingIndividualAcervo receivedAcervo = (SerializingIndividualAcervo) message.getContentObject();
        //receivedAcervo contém todos os dados sobre a peça visitada
        System.out.println(" *Peca: "+ receivedAcervo.getNome());

        //mostra a descrição da peça visitada de acordo com a idade
        //ou o nivel de aprendizagem do visitante
        if(idade > 18 || receivedAcervo.getDescricao().equals("avancado")) {
            System.out.println(" *"+receivedAcervo.getDescricaoAvancado());
        }

        else if(idade <= 12 && receivedAcervo.getDescricao().equals("iniciante")) {
            System.out.println(" *"+receivedAcervo.getDescricaoIniciante());
        }

        else if(idade <= 18 || receivedAcervo.getDescricao().equals("intermediario")) {
            System.out.println(" *"+receivedAcervo.getDescricaoIntermediario());
        }
    }
    catch (UnreadableException ex) {
        Logger.getLogger(AgenteRecomendador.class.getName()).log(Level.SEVERE, null, ex);
    }
}
```

Figura 25 – Trecho de código-fonte do RAg que verifica o nível do visitante. Fonte: Autoria Própria.

Como pode ser visto na Figura 25, o RAg identifica, a partir da interação com os outros agentes, a peça que o usuário demonstrou interesse e a partir disso, inicia a verificação do nível do usuário para recomendar o conteúdo referente à peça, de acordo com o nível informado.

4.4.5 Modelo do Agente DF

O Agente DF realiza o papel de uma espécie de mediador. A Tabela 7 mostra o seu modelo textual.

Tabela 6 - Modelo textual do Agente DF. Fonte: Autoria Própria.

Agente	Agente DF
Objetivo	O Agente DF tem como objetivo possibilitar que os agentes cadastrem e busquem por serviços oferecidos pelos outros agentes que compõem SMA deste projeto.
Parâmetros de Entrada	Registro de serviços por parte dos agentes.
Parâmetros de Saída	Lista de serviços e os respectivos agentes responsáveis pelo registro.
Condição de Ativação	Inicialização da plataforma JADE.
Condição de Finalização	Finalização da plataforma JADE.
Descrição	Este agente possui o comportamento voltado para a mediação entre os outros agentes. Sua função principal é fornecer uma arquitetura de prestação de serviços, onde agentes disponibilizam e procuram por informações deixadas por outros agentes e conseguem, através do serviço provido pelo DF, se comunicar com o agente que disponibilizou determinada informação.

A principal vantagem em utilizar o JADE reside no fato de que é possível utilizar todos os componentes da especificação FIPA, visto que o JADE atende todas as especificações deste padrão e ainda o estende. Um desses componentes é o agente DF. Outra vantagem dessa plataforma consiste na possibilidade de consultar e utilizar, através do MTS (Message Transport Service), DFs que estejam sendo executados em outras plataformas de agentes. Assim, o DF utilizado na plataforma JADE deste trabalho pode, por exemplo, ser consultado, por meio da internet, por um agente que esteja sendo executado em outro local, através do protocolo MTP (Message Transport Protocol). A Figura 26 mostra como ocorre o cadastro de serviços no Agente DF.

```
protected void setup(){
    VisitanteOntology vo = new VisitanteOntology(this);
    vo.getVisitanteOntology();

    DFAgentDescription dfd = new DFAgentDescription();
    dfd.setName(getAID());
    ServiceDescription sd = new ServiceDescription();
    sd.setType("Visitante");
    sd.setName(getAID().getName());
    dfd.addServices(sd);
    try{
        DFService.register(this, dfd);
    }
    catch (FIPAException ex){ex.printStackTrace();}
    listAgents();
    listAgents2();
    addBehaviour(new getOnt());
    addBehaviour(new sendLogin());
}
```

Figura 26 – Cadastro de serviços no Agente DF. Fonte: Autoria Própria.

Essa característica permite a criação de uma rede de colaboração entre os agentes. Neste trabalho, este protocolo foi utilizado para comunicação entre agentes que se encontravam na mesma plataforma, visto que os três agentes criados e o DF se encontravam no mesmo servidor.

A Figura 27 mostra, através da interface gráfica do JADE, como ocorre a comunicação entre os agentes descrita através dos modelos textuais dos agentes apresentados anteriormente.

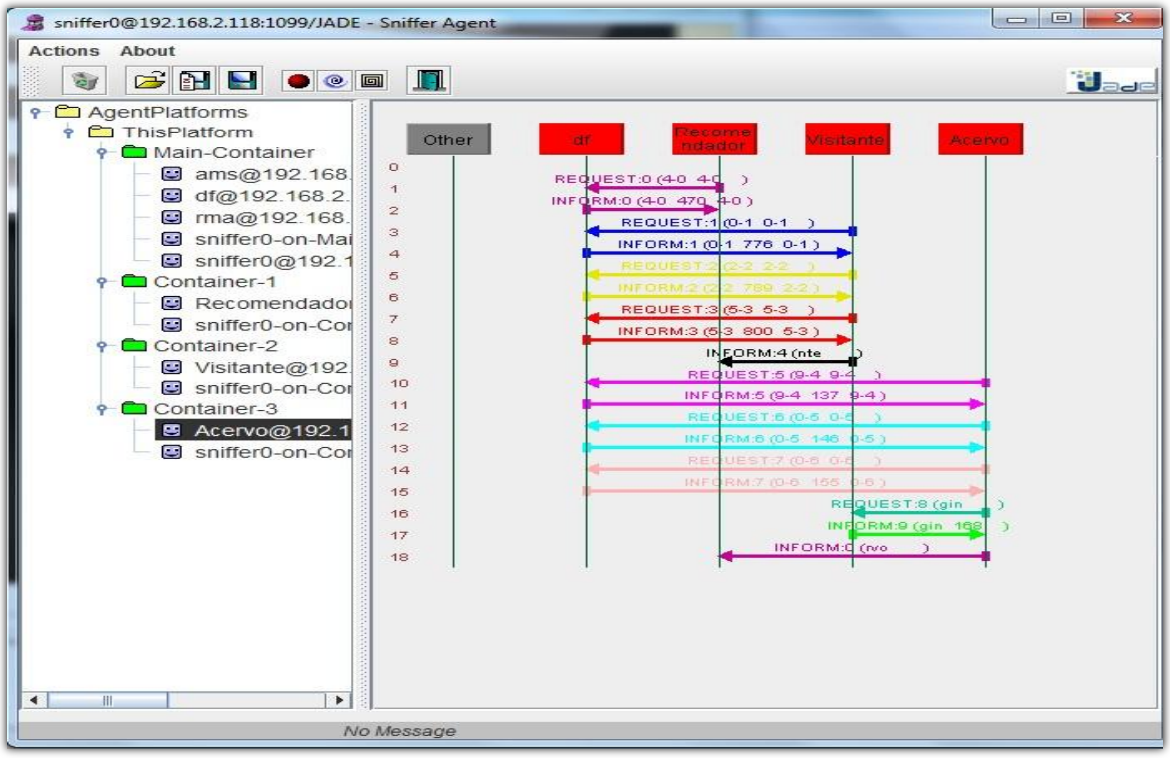


Figura 27 – Comunicação entre os agentes através do framework JADE. Fonte: MOURA *et al.* 2012c

Como pode ser visto na Figura 27, inicialmente, o RAg solicita por informações de serviço ao agente DF. Em seguida, o DF responde com as informações de serviços disponíveis de acordo com as solicitações dos agentes. Desta forma, a comunicação entre os três agentes e o agente DF é mantida durante toda a utilização do museu virtual e provê que o objetivo do museu, que é a recomendação personalizada de conteúdo, seja alcançado.

4.5 TRABALHOS PUBLICADOS

Durante o período da pesquisa, forma publicados alguns trabalhos em conferências nacionais e internacionais e também em uma revista. Devido à característica modular da pesquisa e da implementação do projeto, os primeiros resultados foram referentes aos aspectos históricos e culturais que envolvem o desenvolvimento do museu. Logo em seguida, foram abordados os aspectos referentes à modelagem das peças e do próprio museu e a modelagem do sistema multiagente. A última etapa a render publicações foi a fase referente ao sistema de recomendação desenvolvido. Abaixo segue a lista dos artigos publicados em ordem cronológica.

- MOURA, Í. B. G.; LIMA, J. D; MENDES NETO, F. M.; SOUSA, P. S. M., **Musert: Um Museu Virtual em 3D para a Preservação do Patrimônio Histórico e Cultural do Semiárido Brasileiro**.In: V Escola Regional de Computação dos Estados do Ceará, Maranhão e Piauí (ERCEMAPI). São Luís MA, 2012.

- MOURA, Í. B. G.; LIMA, J. D.; SOUSA, P. S. M.; MENDES NETO, F. M. **Musert: Um Museu Virtual em 3D com Recomendação Personalizada de Conteúdo.** In: XXIII Simpósio Brasileiro de Informática na Educação (SBIE). Rio de Janeiro, RJ, 2012.
- MOURA, Í. B. G. ; LIMA, J. D. ; MENDES NETO, F. M. ; SOUSA, P. S. M. **Musert: 3D Virtual Museum Immersible and with Content Personalized Recommendation.** In: I International Conference on Illustration and Animation, 2012, Barcelos, Portugal. Proceedings of the First International Conference on Illustration and Animation. Barcelos: Polytechnic Institute of Cávado and Ave, 2012.
- MOURA, Í. B. G.; MENDES NETO, F. M.; SOUSA, P. S. M.; LIMA, J. D. **Utilização do Padrão X3D no Desenvolvimento de um Museu Virtual**

Imersivo com Recomendação Personalizada de Conteúdo Através do Uso de Agentes Inteligentes e Ontologias. In: IV Workshop de Realidade Virtuale Aumentada (WRVA), Paranvaí, PR, 2012.

- MOURA, Í. B. G.; MENDES NETO, F. M.; SOUSA, P. S. M. **Utilização do Framework Jade no Desenvolvimento de um Museu Virtual 3D com Recomendação Personalizada de Conteúdo.** E-xacta, Belo Horizonte, v. 5, n. 2, p. 83-97, 2012.
- MOURA, Í. B. G. ; MENDES NETO, F. M. ; SOUSA, P. S. M. ; LIMA, J. D . **Desenvolvimento de um Museu Virtual 3D Utilizando Agentes Inteligentes.** In: Encontro Unificado de Computação - ENUCOMP, 2012, Parnaíba - PI. Anais do Encontro Unificado de Computação - ENUCOMP 2012. Teresina: FAPEPI, 2012.
- MOURA, Í. B. G. ; MENDES NETO, F. M. ; LIMA, J. D. ; SOUSA, P. S. M. . **Intelligent Agents with Educational Goals in Personalized Recommendation of Content In Virtual Learning Environments 3D.** In: VIII International Conference on Engineering and Computer Education - ICECE 2013, Luanda. Proceedings of VIII International Conference on Engineering and Computer Education - ICECE 2013. Luanda: UniPiaget, 2013.

5 MUSERT

Pesquisas recentes têm mostrado que a introdução de Ambientes Virtuais de Aprendizagem no ensino, tem o potencial de trazer resultados significativos a partir da mudança na experiência de aprendizagem. Com isso, a utilização de ambientes virtuais tornou-se muito popular ao longo dos últimos anos A aplicação de tecnologias de Realidade Virtual (RV), proporciona aos estudantes a possibilidade de navegar em diferentes ambientes, proporcionando a sensação real de estar no próprio ambiente, além de possibilitar a interação com aplicações e funcionalidades oferecidas, disponibilizando informações aos usuários de forma simples e de fácil compreensão.

Em consequência da utilização dessas tecnologias, também estão sendo desenvolvidos museus virtuais, que além de oferecer uma diversidade muito grande de possibilidades na aquisição de conhecimento através da apresentação de uma coleção de artefatos eletrônicos e recursos informativos disponibilizados de forma digital, tem mostrado ser eficaz em uma série de projetos de ensino que estão sendo utilizados para facilitar o processo educacional de maneira diferente da convencional.

Devido também à necessidade de preservação do patrimônio histórico e cultural de uma região, diversas alternativas estão sendo utilizadas para promover a preservação, e uma delas é a utilização de técnicas de digitalização em terceira dimensão (3D) em projetos com grande apelo visual. Técnicas de digitalização 3D estão cada vez mais sendo utilizadas em projetos com objetivos pedagógicos, como museus virtuais. Isso de deve, principalmente, a sensação de imersão e riqueza de detalhes que estes ambientes podem promover.

Com base nisso, este trabalho apresentou um museu virtual em 3D, chamado Musert. Este museu tem a proposta de apresentar e descrever, através do ambiente virtual, várias peças características do semiárido brasileiro. Além disso, apresentou um mecanismo de recomendação para que a descrição das peças seja feita de maneira conveniente de acordo o interesse de cada usuário a partir da utilização e avaliação de seu perfil. Para isso, utilizou tecnologias como ontologias, para a representação das características de cada usuário e de cada peça do museu, e agentes de software, na realização de inferência a partir do perfil de cada usuário, para que a recomendação das descrições das peças, durante a visitação virtual, sejam feitas de acordo com o perfil de cada usuário, proporcionando um melhor aproveitamento ao visitar o museu.

Apesar do trabalho realizado, existem alguns trabalhos futuros que podem ser feitos para aperfeiçoar a estrutura desenvolvida. Assim, como trabalho futuro, pretende-se:

- Testar o ambiente desenvolvido em um contexto real. Isso possibilitará mensurar, estatisticamente, o quanto este mecanismo de recomendação contribui para o processo de ensino-aprendizagem.
- Submeter o ambiente à avaliação de um museólogo para realizar um maior detalhamento do conteúdo das peças expostas, com o intuito de aperfeiçoar a recomendação de conteúdo das peças expostas no museu.
- Integrar o museu com redes sociais ou outros mecanismos de identificação para ajudar no levantamento do perfil do usuário e melhorar a forma de coleta de dados, evitando o preenchimento de formulários antes da primeira utilização do ambiente, e também para ajudar no levantamento de informações relevantes para o perfil dinâmico do visitante.

Além dessas contribuições, que serão desenvolvidas posteriormente, outra possibilidade de contribuição na recomendação de conteúdo, é a consideração das palavras que sejam sinônimas daquelas que estão na ontologia que contém as descrições das peças, considerando a relação semântica entre as palavras no momento da recomendação.

REFERÊNCIAS

ACAMPORA, G.; CADENAS, J.M.; LOIA, V.; BALLESTER, E. M. A Multi-Agent Memetic System for Human-Based Knowledge Selection. **Systems, Man and Cybernetics, Part A: Systems and Humans, IEEE Transactions**, v. 41, n. 5, p. 946-960, Setembro 2011.

ALBARRAK, K. M.; SIBLEY, E. H. A survey of methods that transform data models into Ontology models. **IEEE International Conference on Information Reuse and Integration (IRI)**, p. 58-65, Agosto 2011.

ALMEIDA, M.; BAX, M. Uma visão geral sobre ontologias: pesquisa sobre definições, tipos, aplicações, métodos de avaliação e de construção. **Ciência da Informação**, Brasília, v. 32, Dezembro 2003.

ALVES, R. C. V. Web semântica: uma análise focada no uso de metadados. 2005. 180 f. **Dissertação (Mestrado em Ciência da Informação**) - Faculdade de Filosofia e Ciências, Universidade Estadual Paulista, Marília, 2005.

ARTERO, A. O. Inteligência Artificial - Teoria e Prática. 1ª. ed. São Paulo: Livraria da Física, 2009.

BAHIRAEY, M. H. Quality of collaborative and individual learning in virtual learning environments. **Second International Conference on E-Learning and E-Teaching (ICELET)**, p. 33-39, Dezembro 2010.

BARRETT, R., MAGLIO, P. P. e KELLEM, D. C. How to Personalize the Web. In **Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems**, Atlanta, Georgia, ACM Press pp. 75–82, 1997.

BARTH, F. J. Modelando o perfil do usuário para a construção de sistemas de recomendação: um estudo teórico e estado da arte. **Revista de Sistemas de Informação da FSMA** , n. 6, p. 59-71, 2010.

BATTAIOLA, A. L. **Apostila do Curso de Computação Gráfica**. (Adaptado por: Prof. Dr. José Hiroki Saito). Departamento de Computação. UFSCar, 1999.

BEGAM, M.F.; GANAPATHY, G. Knowledge Engineering Approach for Constructing Ontology for e-Learning Services. **International Conference on Advanced Computer Science and Information System (ICACSIS)**, p. 125-132, 2011.

BELLIFEMINE, F.; CAIRE, G.; GREENWOOD, D. **Developing multi-agent systems with JADE.** Liverpool, Inglaterra: John Wiley & Sons, Ltd, 2007.

BELLIFEMINE, F.; CAIRE, G.; POGGI, A.; RIMASSA, G. **JADE: A White Paper EXP in search of innovation,** Vol. 3, No. 3., p. 6-19, 2003.

BERNERS-LEE, T.; HENDLER, J.; LASSILA, O. The semantic web: a new form of web content that is meaningful to computers will unleash a revolution of new possibilities. **Scientific American**, New York, Maio, 2001.

BHATIA, C. S.; JAIN, S. Semantic Web Mining: Using Ontology Learning and Grammatical Rule Inference Technique. **International Conference on Process Automation, Control and Computing (PACC)**, p. 1-6, Julho 2011.

BIAN, L. Information Technology and Its Application in E-learning. **International Conference on Networking and Digital Society (ICNDS)**, v. 1, p. 293-296, Maio 2009.

BILLSUS. D; PAZZANI. M. J. , A hybrid user model for News story classification. In Proceedings of the 7th International Conference on User Modeling (UM'99). Springer, Pages: 99-108. 1999

BLENDER. **Open source 3D content creation suite.** Disponível em: http://www.blender.org, Acesso: em 15 de Março de 2012.

BREMGARTNER, V.; MAGALHÃES NETO, J. F. An Adaptive Strategy to Help Students in e-Learning Systems Using Competency-Based Ontology and Agents. **International Conference on Intelligent Sysytems Design and Applications (ISDA)**, p. 978-983, Novembro 2011.

CASTRO, J.; ALENCAR, F.; SILVA, C. T. L. L. Engenharia de Software Orientada a Agentes. In: BREITMAN, K.; ANIDO, R. **Atualizações em Informática**. Rio de Janeiro: PUC-Rio, Cap. V, p. 245-282, 2006.

CERVENKA, R.; TRENCANSKY, I. AML, The Agent Modeling Language: A Comprehensive Approach to Modeling Multi-Agent Systems. Basel, Suíca: Birkhauser

Verlag, v. **Whitestein Series in Software Agent Technologies and Automatic Computing**, 2007.

CHENGWEI, Y.; CHENGLE, Y.; SHIJUN, L.; XIANGXU, M.; RUI, W. An Approach of Personalized 3D Scene Customization Based on Multimedia Resources. **International Conference on Multimedia and Signal Processing (CMSP)**, v. 2, p. 131-135, Maio 2011.

COLACE, F.; DE SANTO, M. Ontology for E-Learning: A Bayesian Approach. **IEEE Transactions on Education**, v. 53, n. 2, p. 223-233, Maio 2010.

CONSSENTINO, M. From requirements to code with the passi methodology. In: HENDERSON-SELLERS, B.; GIORGINI, P. **Agent-Oriented Methodologies. Hershey**, PA: IDEA Group Publishing, 2005. Cap. IV, p. 79-106.

DELOACH, S.; KUMAR, M. Multiagent systems engineering: An overview and case study**.** In: HENDERSON-SELLERS, B.; GIORGINI, P. **Agent-Oriented Methodologies. Hershey**, PA: IDEA Group Publishing, 2005. Cap. XI, p. 317-340.

DUNG, P. Q.; FLOREA, A. M. An Architecture and a Domain Ontology for Personalized Multi-agent e-Learning Systems. **Third International Conference on Knowledge and Systems Engineering (KSE)**, p. 181-185, Outubro 2011.

FALCÃO, E. L.; MACHADO L. S. Museu 3I: Publicação e Visitação Online de Acervos Tridimensionais. In: **VII Workshop de Realidade Vritual e Aumentada (WRVA)**, São Paulo, SP, 2010.

FALCÃO, E. L.; ROCHA NETO, H. R.; MACHADO, L. S. Multiprojeção por Clusterização de Visualização de Ambientes Virtuais com o Xj3D. In: **XIII Simpósio de Realidade Virtual e Aumentada (SRV)**, Uberlândia, MG, 2011.

FIPA. **Welcome to the Foundation for Intelligent Physical Agents.** Site Oficial do Padrão FIPA, 2013. Disponivel em: <http://www.fipa.org/>. Acesso em: jan. 2013.

FOLEY, James et al. **Introduction to Computer Graphics** . USA. Addison-Wesley. 1993.

FONSECA, F. T.; EGENHOFER, M. J. Ontology-driven geographic information systems. **GIS '99: Proceedings of the 7th ACM International Symposium on Advances in Geographic Information Systems**, 1999.

FORMINYKH, M.; PRASOLOVA-FORLAND, E; MOROZOV, M. From 3D virtual museumto3D collaborative virtual workshop. **International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT)**, P 443-445, Julo 2008.

GARIJO, F. J.; GÓMEZ-SANZ, J. J.; MASSONET, P. The MESSAGE Methodology for Agent-Oriented Analysis and Design. In: HENDERSON-SELLERS, B.; GIORGINI, P. **Agent-Oriented Methodologies. Hershey**, PA: IDEA Group Publhising, 2005. Cap. VIII, p. 203-234.

GAUCH, S., SPERETTA, M., CHANDRAMOULI, A.; MICARELLI, A. (2007). User Profiles for Personalized Information Access. In **Brusilovsky, P., Kobsa, A., e Nejdl, W., editores, The Adaptive Web**, v. 4321 of Lecture Notes in Computer Science, pp. 54–89

GEORGOULI, K. Virtual Learning Environments - An Overview. **15th Panhellenic Conference on Informatics (PCI)**, p. 63-67, Setembro 2011.

GUIDI, G.; TROCCHIANESI, R.; PILS, G.; MORLANDO, G.; SEASSARO, A. A Virtual Museum for Design: New forms of interactive fruition. **16th International Conference on Virtual Systems and Multimedia (VSMM)**, p. 242-249, Outubro 2010.

HOASHI, K., MATSUMOTO, K., INOUE, N.; HASHIMOTO, K. Document Filtering Method using Non-Relevant Information Profile**.** In **Proceedings of the 23rd Annual International ACM SIGIR Conference on Research and Development in Information Retrieval**, p. 176–183, Athens, Greece. ACM Press, 2000.

HENDERSON-SELLERS, B.; GIORGINI, P. **Agent-oriented Methodologies**. 1ª. ed. [S.l.]: Idea Group Inc (IGI), 2005.

IGLESIAS, C. A.; GARIJO, M. The Agent-Oriented Methodology MAS-CommonKADS. In: HENDERSON-SELLERS, B.; GIORGINI, P. **Agent-Oriented Methodologies. Hershey**, PA: IDEA Group Publishing, Cap. III, p. 46-78, 2005.

IVANOVA,T. Adaptive Open Corpus E-Learning and Authoring, Using Collaborative Ontology Learning. In: **International Conference on Emerging eLearnig Technologies and Applications (ICETA)**,p. 83-87, 2011.

JALIGAMA, V.; LIAROKAPIS, F. An Online Virtual Learning Environment for Higher Education. **Third International Conference on Games and Virtual Worlds for Serious Applications (VS-GAMES)**, p. 207-214, 2011.

JIANG, X.; LIU, C.; CHEN, L. Implementation of a project-based 3D virtual learning environment for English language learning. **2nd International Conference on Education Technology and Computer (ICETC)**, v. 3, p. V3-281-V3-284, Junho 2010.

JMONKEYENGINE. Jmonkeyengine on line documentation. **http://www.jmonkeyengine.com**, acesso em: Janeiro de 2013.

JUN, J. Z.; BIN, W. Z. Ideas transforming in the public arts education of virtual museum. **6th International Conference on Computer Science & Education (ICCSE)**, p. 649-653, 2011.

KALOU, A. K.; POMONIS, T.; KOUTSOMITROPOULOS, D.; PAPATHEODOROU, T. Intelligent Book Mashup: Using Semantic Web Ontologies and Rules for User Personalisation. **IEEE Fourth International Conference on Semantic Computing (ICSC)**, p. 536-541, Setembro 2010.

KELLY, D.; TEEVAN, J. Implicit Feedback for Inferring User Preference: A Bibliography. **ACM SIGIR Forum**, p. 18–28, 2003

KIRNER, C.; KIRNER T. G. U Evolução e Tendências da Realidade Virtual e da Realidade Aumentada**. XII Symposium on Virtual and Augmented Reality (SRV)**, p. 10-25, 2011.

KUAN-CHUNG, C.; WEI-GUANG, T. Adopting User Profiles and Behavior Patterns in a Web-TV Recommendation System. **13th International Symposium Consumer Electronics (ISCE)**, p. 320-324, Maio 2009.

LESSER, V. R. Cooperative multiagent systems: a personal view of the state of the art. **IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering**, v. 11, n. 1, p. 133-142, Janeiro/Fevereiro 1999.

LIAROKAPIS, F.; ANDERSON, E. F. Using Augmented Reality as a Medium to Assist Teaching in Higher Education. **31st Annual Conference of the European Association for Computer Graphics (eurographics)**, 2010.

LIM, E. H. Y.; TAM, H. W. K.; WONG, S. W. K.; LIU, J. N. K; LEE,R. S. T. Collaborative Content and User-Based Web Ontology Learning System. **IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE 2009)**, p. 1050-1055, 2009.

LIN, L.; ZHENGLU, Y.; BOTAO, W.; MASARU, K. Dynamic Adaptation Strategies for Long-Term and Short-Term User Profile to Personalize Search. **Advances In Data And Web Management, Lecture Notes in Computer Science**, p. 228-240, 2007.

LIU, C. J.; WANG, G. Using Second Life in ESL/EFL Teaching and Reacher-Training in the Web2.0 Environment.In: **IEEE Symposium on Eletrical & Eletronics Engineering (EEESYM)**, p. 717-720, 2012.

LIU, F.; YU, C; MENG, W. Personalized Web Search by Mapping User Queries to Categories. In **Proceedings of the Eleventh International Conference on Information and Knowledge Management**, ACM Press, McLean, Virginia, USA. p. 558–565, 2002.

LIU, Z.; CHEN, B. Model and Implementat an Agent Oriented E-Learning System. **International Computaional Intelligence for Modelling, Control and Automation, and Automation, and International Conference on Intelligent Agents, Web Technologies and Internet Commerce**, p. 859-864, Novembro 2005.

MEDEIROS, D. P. S.; MACHADO, L.S. X3D e Integração Multimídia para Representação de um Sítio Arqueológico.In: **VII WORKSHOP DE REALIDADE VIRTUAL E AUMENTADA (WRVA)**, São Paulo, SP, 2010.

MIN, W.; WEI, C.; LEI, C. Research of ontology-based adaptive learning system. **ISCID '08 International Symposium on Computational Intelligence and Design**, v. 2 , p. 366 –370., 2008.

MORAES, M. C.; BERTOLETTI, A. C.; COSTA, A. C. R. Virtual Guides to Assist Visitors in the SAGRES Virtual Museum. **International Conference of the Chilean Computer Science Socitey**, p. 35-42, 1999.

MORAIS II, M. J. D. O. MAS-CommonKADS+: Uma Extensão à Metodologia Mas-CommonKADS para Suporte ao Processo Detalhado de Sitemas Multiagentes Racionais. **Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual do Ceará - UECE.** Fortaleza, CE. 2010.

MOURA, Í. B. G.; LIMA, J. D; MENDES NETO, F. M.; SOUSA, P. S. M., Musert: Um Museu Virtual em 3D para a Preservação do Patrimônio Histórico e Cultural do Semiárido Brasileiro.In: **V Escola Regional de Computação dos Estados do Ceará, Maranhão e Piauí (ERCEMAPI)**. São Luís MA, 2012.

MOURA, Í. B. G.; LIMA, J. D.; SOUSA, P. S. M.; MENDES NETO, F. M. Musert: Um Museu Virtual em 3D com Recomendação Personalizada de Conteúdo. In: **XXIII Simpósio Brasileiro de Informática na Educação (SBIE)**. Rio de Janeiro, RJ, 2012.

MOURA, Í. B. G.; MENDES NETO, F. M.; SOUSA, P. S. M. Utilização do Framework Jade no Desenvolvimento de um Museu Virtual 3D com Recomendação Personalizada de Conteúdo. **E-xacta**, Belo Horizonte, v. 5, n. 2, p. 83-97, 2012.

MOURA, Í. B. G.; MENDES NETO, F. M.; SOUSA, P. S. M.; LIMA, J. D. Utilização do Padrão X3D no Desenvolvimento de um Museu Virtual Imersivo com Recomendação Personalizada de Conteúdo Através do Uso de Agentes Inteligentes e Ontologias. In: IV **Workshop de Realidade Virtuale Aumentada (WRVA)**, Paranvaí, PR, 2012.

NOY NF, MCGUINNESS DL. Ontology Development 101: A Guide to Creating Your First Ontology. **Knowledge Systems Laboratory**, ksl.stanford.edu, March, 2001.

NUNES, F. L. S.; COSTA, R. M. E.; MACHADO, L. S.; MORAES, R. M. **Desenvolvendo aplicações de RVA para saúde: imersão, realismo e motivação**. **XII Symposium on Virtual and Augmented Reality (SRV)**, p. 82-95, 2011.

PAPATHEODOROU, C. Machine Learning in User Modeling. **Proceedings of Machine Learning and Its Applications**, p. 286-294, 2001.

PAZZANI, M.; MURAMATSU, J.; BILLSUS, D. Syskill & Webert: Identifying Interesting Web Sites. In **Proceedings of 13th National Conference on Artificial Intelligence**, p. 54–61, 1998.

PEÑA, A.; SOSSA, H.; GUTIERREZ, F. Web-Sevices Based Ontologiy Agent. **Third International Conference on Distributed Frameworks for Multimedia Applications**, p. 1-8, 2006.

PEREIRA, P. D. Utilização de Realidade Virtual não Imersiva para a Demonstração de Técnicas de Computação Gráfica.. **Monografia (Graduação) Universidade Federal de Pelotas**, Pelotas-RS, 2008.

PONTES, A. A. Uma Arquitetura de Agentes para Suporte a Colaboração na Aprendizagem Baseada em Problemas em Ambientes Virtuais de Aprendizagem. **Dissertação (Mestrado) Universidade Federal Rural do Semi-árido - UFERSA**, Mossoró-RN, 2010.

PRADO, S. Um experimento no uso de ontologias para reforco da aprendizagem em educação a distância. **São Paulo: Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politecnica, Universidade de São Paulo**, 2004.

PRESSMAN, R. S. Engenharia de Software: uma abordagem profissional. Tradução de Ariovaldo Griesi e Mario Moro Fecchio. 7ª. ed. Porto Alegre: **Mac Graw Hill**, 2011.

PRETSCHNER, A.; GAUCH, S. Ontology Based Personalized Search. In Proceed-ings of the **11th IEEE International Conference on Tools with Artificial Intelligence**, Washington, DC, USA. IEEE Computer Society, p 391, 1999.

QU, L.; WANG, N.; JOHNSON, W. L. Choosing When to Interact with Learners. **Proceedings of the 9th iternational Conference on Intelligent User Interfaces**, New York, 2004.

QUIROGA, L. M. e MOSTAFA, J. Empirical Evaluation of Explicit versus Implicit Acquisition of User Profiles in Information Filtering Systems. In **Proceedings of the Fourth ACM Conference on Digital libraries**, ACM Press, California, USA, p. 238–239, Berkeley, 1999.

RANI, S.; ASHOK, M.; PALANIVEL, K. Adaptive content for personalized e-learningusing web service and semantic web. **IAMA 2009. International Conference on Intelligent Agent Multi-Agent Systems**, p. 1-4., 2009.

REATEGUI, E. B.; CAZELLA, S. C. Sistemas de Recomendação. **XXV Congresso da Sociedade Brasileira de Computação**, São Leopoldo-RS, 2005.

REIS, L. P. Coordenação em Sistemas Multi-Agente: Aplicações na Gestão Universitária e Futebol Robótico (Coordination in Multi-Agent Systems: Applications in University Management and Robotic Soccer). **PhD Thesis, FEUP**, Julho 2003.

RIDGEWELL, W., KUMAR, V., LIN, O.; KINSHUK, K. OpenSim Virtual Worlds as a Platform for Enhanced Learning Concepts. In: **IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON ADVANCED TECHNOLOGIES (ICALT)**. p.623-624, 2011.

RODRIGUES, R. A.; KORMANN, M.; DAVISON, L. A case study of 3D technologies in higher education: Scanning the metalwork collection of museums sheffield and its implications to teaching and learning. **International Cpnference on Information Technology Based Higher Education and Training (ITHET)**, p. 1-6, Agosto 2011.

RUSSEL, R.; NORVIG, P. **Artificial Inteligence, a Moderne Approach**. 2nd. ed. [S.l.]: Prentice Hall, 2003.

SALEEB, N.; DAFOULAS, G. Pedagogical immigration to 3D virtual worlds: A critical review of underlying themes and their concepts. **International Conference on Information Society (i-Society)**, p. 401-409, Junho 2010.

SCHREIBER, G. et al. **Knowledge Engineering and Management - The CommonKADS Methodology**. Cambridge, MA: MIT Press, 2000.

SILVA JÚNIOR, J. R.; CLUA, E. W.; PAGLIOSA, P. A.; MONTENEGRO, A.; MURTA, L. A Fast and Safe Framework to Prototyping Physical Worlds Using XNA and GPU. **VIII Brazilian Symposium on Games and Digital Entertainment**. Outubro 2009.

SOARES, I. J. A.; SILVA, L.; BELLON, O. R. P.; VRUBEL, A. 3D Virtual Museum for Digital TV. **WebMedia '09**, Fortaleza-CE, Outubro 2009.

SOLIMAN, M.; GUETL, C. Intelligent Pedagogical Agents in immersive virtual learning environments: A review. **Proceedings of the 33rd International Convention, MIPRO**, p. 827-832, Maio 2010.

SOLIMAN, M.; GUETL, C. L. Evaluation of intelligent agent frameworks for human learning. **14th International Conference on Interactive Collaborative Learning (ICL)**, p. 191-194, Setembro 2011.

SOUZA, R. R.; ALVARENGA, L. A web semântica e suas contribuições para a ciência da informação. **Ciência da Informação**, Brasília, v. 33, n. 1, p. 132-141, jan./abr. 2004.

SUGIYAMA, K.; HATANO, K.; YOSHIKAWA, M. Adaptive Web Search Based on User Profile Constructed without Any Effort from Users. **13th international conference on World Wide Web**, New York, NY, USA, p 675-684. 2004.

TEEVAN, J., DUMAIS, S. T., e HORVITZ, E. Personalizing Search via Automated Analysis of Interests and Activities. In **Proceedings of the 28th Annual International ACM SIGIR Conference on Research and Development in Information Retrieval**, ACM Press, p 449–456, Salvador, Brazil. 2005.

TRAINA, A. J. M.; OLIVEIRA M. C. F.. **Apostila de Computação Gráfica.** ICMC/USP, 2006.

WOOLDRIDGE, M. **An Introduction to Multiagent Systems**. 1a. ed. [S.l.]: John WWiley & Sons, Inc., 2002.

XML. **Extensible Markup Language.** Disponível em: http://www.w3.org/XML/, Acesso em: Março de 2012.

ZEB, M. A.; FASLI, M. Adaptive user profiling for deviating user interests. **3rd Computer Science and Electronic Engineering Conference (CEEC)**, p. 65-70, Julho 2011.

ZHANG, N.; BAO, H. Research on E-learning with Digital Technology in Distance Education. **International Conference on e-Education, e-Business, e-Management, and e-Learning (IC4E)**, p. 299-302, Janeiro 2010.

ZHAO, R.; ZHANG, C. An Ontology-Based Knowledge Management Approach for E-Learning System. **International Conference on Management and Service Science (MASS)**, p. 1-4, Setembro 2009.

ZHU, Q.; XIANG, K.; HU, S. Design an Immersive Interactive Museum in Second Life. **Second Workshop on Digital Media and its Application in Museum & Heritage**, p. 264-267, 2007.