

# UNIVERSIDADE CATÓLICA DE BRASÍLIA

PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO  
STRICTO SENSO EM GESTÃO DO CONHECIMENTO  
E DA TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO

## *Mestrado*

**INTEGRANDO REALIDADE VIRTUAL  
EM SISTEMAS TUTORES INTELIGENTES  
NO DOMÍNIO DA SAÚDE**

Autor: Jairo Simão Santana Melo  
Orientadora: Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Lourdes Mattos Brasil

BRASÍLIA

2007

JAIRO SIMÃO SANTANA MELO

**INTEGRANDO REALIDADE VIRTUAL  
EM SISTEMAS TUTORES INTELIGENTES NO DOMÍNIO DA SAÚDE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Gestão do Conhecimento e da Tecnologia da Informação, da Universidade Católica de Brasília, como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Gestão do Conhecimento e da Tecnologia da Informação.

Orientadora:  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Lourdes Mattos Brasil

Co-orientador:  
Prof. Dr. Remis Balaniuk

Co-orientador:  
Prof. Dr. Edilson Ferneda

BRASÍLIA  
2007

## **TERMO DE APROVAÇÃO**

Dissertação de autoria de Jairo Simão Santa Melo, intitulada “Integrando Realidade Virtual em Sistemas Tutores Inteligentes no Domínio da Saúde”, requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Gestão do Conhecimento e da Tecnologia da Informação, defendida e aprovada, em 03 de dezembro de 2007, pela banca examinadora constituída por:

---

Prof<sup>a</sup> Lourdes Mattos Brasil, Dr<sup>a</sup>

Orientadora

---

Prof. Remis Balaniuk, Dr.

Co-orientador

---

Prof. Edilson Ferneda, Dr.

Co-orientador

---

Prof. Jauvane Cavalcante de Oliveira, Dr.

Examinador externo

---

Prof. Evandro de Barros Costa, Dr.

Examinador externo

---

Prof<sup>a</sup> Fernanda Lima, Dr<sup>a</sup>

Examinador interno

Brasília

UCB

*À Rebeca pelo apoio  
e compreensão nos momentos ausentes.*

## **AGRADECIMENTO**

*Agradeço ao meu pai e minha mãe, pelo incondicional apoio e orientação.*

*À Rebeca, pelo amor, paciência e incentivo.*

*Agradeço aos orientadores, Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Lourdes Brasil, Prof. Dr. Remis Balaniuk e Prof. Dr. Edilson Fereda pela extraordinária dedicação e direção em todos os momentos.*

*Agradeço a Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Fernanda Lima pelas importantes sugestões ao trabalho.*

## RESUMO

A Informática aplicada à área de Saúde vem se destacando devido às suas contribuições ao processo de tomada de decisão médica, no auxílio a diagnósticos e, em particular para este trabalho, no aperfeiçoamento do ensino médico. Ultimamente, esse setor vem contando com suporte da Inteligência Artificial (IA), Realidade Virtual (RV), Multimídia, Hipermídia e Internet. Entretanto, o uso isolado dessas tecnologias não proporciona resultados tão satisfatórios quanto os advindos de sua integração. O presente trabalho busca contribuir para a integração entre RV e Sistemas Tutores Inteligentes (STI). Neste sentido, trabalhos relativos à estruturação do conhecimento e à concepção de ambientes interativos de aprendizagem vêm contribuindo com arquiteturas que unem as melhores práticas tanto de STI como de RV, entre elas: facilidade de acesso, individualização do aprendizado, conteúdo lapidado, modelado e selecionado, interface adaptável para cada aprendiz, um ambiente imersivo, interativo, intuitivo, além de ser ergonomicamente modelado. O domínio de conhecimento escolhido para estudo de caso foi a Anatomia Humana por se tratar de uma área da saúde afetada diretamente pelos avanços tecnológicos. O conteúdo destinado ao ensino da disciplina de anatomia foi formalizado em uma estrutura de ontologia com o objetivo de padronizar a nomenclatura específica da área médica, facilitar a disseminação do assunto, modularizar o conteúdo, clarear e objetivar os conceitos. Nessa mesma modelagem foi incorporado ao domínio de conhecimento anatômico humano o relacionamento com os conceitos de RV, buscando auxiliar o ensino do domínio estipulado e construindo um mecanismo de comunicação entre RV e STI. Sendo a RV uma interface de interação, visualização e navegação em ambientes tridimensionais, foi possível contribuir para o ensino de estruturas anatômicas complexas e que exigiram maior compreensão dos detalhes, dimensões, texturas e propriedades físicas, tais como peso, rigidez e elasticidade dando uma noção de realidade que os demais meios de ensino têm dificuldade de representar. Essa contribuição foi aferida por meio de uma experimentação com turmas de estudantes da área de Saúde (Medicina, Enfermagem e Biomedicina).

**Palavras-chave:** Realidade Virtual. Sistema Tutor Inteligente. Ontologia e Interfaces Hápticas.

## ABSTRACT

The informatics applied to the health area has been emphasizing because of its contributions to medical decision-making, aid in the diagnosis and, in particular, for this work in the improvement of medical education. Recently, this section is counting on support from the Artificial Intelligence (AI), Virtual Reality (VR), multimedia, hypermedia and the internet. However, uses of these technologies alone do not provide satisfactory results such as those arising from their integration. The present work seeks to contribute to the integration between VR and Intelligent Tutoring Systems (ITS). Accordingly, work on the structure of knowledge and the design of interactive learning environments has been contributing with architectures that unite the best practices of both ITS and VR. These ones include easy of access, individualization of learning, content cut, and modeled selected, adaptable interface for each apprentice, in immerse environment, interactive, intuitive, and ergonomically modeled. The domain of knowledge chosen to make a clinic study was the human anatomy. This choice was done due to the health area is directly affected by the technological advances. The content subject for the education of the anatomy discipline was formalized in a structure of ontology in order to standardize the nomenclature of the specific medical area to facilitate dissemination of the subject, modular the subject and target clarify the concepts. On the same modeling was embedded in the domain of human anatomical knowledge the relationship with the concepts of VR, seeking to help the education of the stipulated domain and building a mechanism of communication between VR and STI. Being the VR an interface of interaction, visualization and navigation in three-dimensional environments, it was possible to contribute to the teaching of complex anatomical structures and requiring greater understanding of the details, sizes, textures and physical properties, such as weight, rigidity and elasticity giving a sense the fact that all forms of education are difficult to represent. This contribution was validated through a trial with classes of students in the health area (medicine, nursing and biomedicine).

**Keywords:** Virtual Reality. Intelligent Tutoring Systems. Ontology and Haptic Interface.

## Lista de Figuras

Figura 1 - Conversão do conhecimento .....	21
Figura 2 - Modelo genérico de gestão do conhecimento .....	22
Figura 3 - Domínios do conhecimento médico .....	25
Figura 4 - Arquitetura IACVIRTUAL .....	27
Figura 5 - Arquitetura Básica de STI .....	30
Figura 6 - <i>Human Systems Explorer</i> : exemplo de STI baseado em imagens estáticas .....	33
Figura 7 - Interface de acesso ao FMA .....	43
Figura 8 - Interação Tutor-Aprendiz .....	44
Figura 9 - Visão Multidimensional do Conhecimento do Domínio.....	45
Figura 10 - Arquitetura do MATHEMA .....	47
Figura 11 - Arquitetura do E-MATHEMA .....	48
Figura 12 - Objeto 3D definida por <i>Voxel</i> .....	51
Figura 13 – Exemplo de imagem obtida por ressonância magnética nuclear .....	53
Figura 14 - Dispositivos eletromagnéticos.....	55
Figura 15 -Interfaces de contato mecânicas .....	56
Figura 16 - Dispositivos acústicos .....	57
Figura 17 - Dispositivos Inerciais .....	57
Figura 18 - Dispositivos ópticos .....	59
Figura 19 - Visualizador Anatômico.....	61
Figura 20 - Simulador endoscópico .....	64
Figura 21 - Simulador de laparoscopia .....	64
Figura 22 –Arquitetura básica de software: (i) interface, (ii) negócio e (iii) dados.....	69
Figura 23 – Arquitetura do ASM .....	70
Figura 24 - Lapidação da ontologia – (i) modelo ASM, (ii) modelo FMA .....	71
Figura 25 – Diagrama de relacionamentos entre os subdomínios da Anatomia Humana .....	72
Figura 26 – Arquitetura de <i>Engine</i> 3D.....	73
Figura 27 – Construção de Modelos 3D a partir de tomografias .....	74
Figura 28 – Funções de relacionamento entre as ontologias .....	75
Figura 29 – Modelagem e retrições PROTÉGÉ.....	75
Figura 30 – Ambiente Protégé (I) Classes, (II) Instancias de Classe, (III) Atributos.....	76
Figura 31 – Proposta de Integração do E-MATHEMA com a arquitetura ASM .....	77
Figura 32 – Repasse da semântica de ensino para o ambiente de RV: (i) Ontologia, (ii) Sociedade de Agentes e (iii) Ambiente de RV + semântica de ensino.....	78
Figura 33 – (i) Visualização hierárquica da (ii) mandíbula em relação ao (iii) crânio .....	80
Figura 34 – Alternância entre os domínios da (i) Anatomia, (ii) Patologia e (iii) Fisiologia..	80
Figura 35 – Interfaces de interação 3D do ASM, (i) Semântica de visualização e navegação e (ii) Interação 3D com interfaces hápticas .....	82
Figura 36 – Equipamentos integrados ao ASM: <i>Phantom</i> e Óculos 3D.....	82
Figura 37 – Tecnologias integrada no ASM .....	85
Figura 38 - Interface de acesso ao ASM-WEB-TUTOR .....	86
Figura 39 – Formas de navegação no conteúdo do sistema: (i) vertical e (ii) horizontal .....	87
Figura 40 – Interface de navegação do STI para a RV .....	88
Figura 41 - Resolução de exercícios dentro do STI.....	91
Figura 42 – Resolução de exercícios e verificação das dicas .....	92
Figura 43 - Inclusão do protótipo de simulação de procedimentos cirúrgicos .....	93
Figura 44 – Gráficos comparativo das respostas (I) grupo A e (II) grupo B .....	101

## Lista de Quadros

Quadro 1 - Relacionamento presentes na ontologia sobre anatomia humana.....	72
Quadro 2 – Propriedades/Atributos das subclasses da ontologia que representa a RV .....	74
Quadro 3 – Como que o ASM irá atender os requisitos de ergonomia .....	81
Quadro 4 – Detalhamento dos componentes do ASM.....	89
Quadro 5 – Distribuição da validação do sistema.....	94
Quadro 6 - Questionário de validação do ASM.....	96
Quadro 7 – Objetivos específicos dos questionamentos.....	97
Quadro 8 - Respostas do Grupo A .....	98
Quadro 9 – Consolidado das respostas múltipla escolha do grupo A.....	99
Quadro 10 - Respostas do Grupo B .....	100
Quadro 11 - Consolidado das respostas múltipla escolha do grupo B.....	100

## Lista de Abreviaturas

- ACM – *Association for Computing Machinery*
- ActiveX – Tecnologia Microsoft para ambiente *Web*
- AI – Agente Inteligente
- ASM – Arquitetura do Ambiente de Simulação Médica
- ASM-WEB-TUTOR – Ambiente de Simulação Médica para *Web*
- CAI – *Computer Assisted Instruction*
- CCD – *Charge-Coupled Device*
- CID – Cadastro Internacional de Doenças
- CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
- EEVL – *The Internet Guide to Engineering, Mathematics and Computing*
- EUA – Estados Unidos da América
- FINEP – Financiadora de Estudos e Projetos
- FIPA – *Foundation for Intelligent Physical Agents*
- FMA – *Foundational Model of Anatomy*
- GC – Gestão do Conhecimento
- IA – Inteligência Artificial
- IACVIRTUAL – Projeto Inteligência Artificial Aplicada na Modelagem e Implementação de um Consultório Virtual
- IEEE – *The Institute of Electrical and Electronics Engineers*
- IHC – Interação Homem/Computador
- ILE – *Interactive Learning Environment*
- JADE – *Java Agent DEvelopment*
- KM4PH – *Knowledge Management for Public Health*
- MGCTI – Mestrado em Gestão do Conhecimento e da Tecnologia da Informação da Universidade Católica de Brasília
- MRI – *Magnetic Resonance Imaging*
- NCBI – *National Center for Biotechnology Information*

NTSC – *National Television Systems Committee*

OMS – Organização Mundial de Saúde

OWL – *Ontology Web Language*

PAFF – Punção Aspirativa por Agulha Fina (PAFF)

PuBMed – *PuBlication Medicine*

RBC – Raciocínio Baseado em Casos

RV – Realidade Virtual

SATA – Sociedade de Agentes Tutores Artificiais

SEH – Sistema Especialista Híbrido

SMA – Sistemas Multi-Agentes

SOA – *Service-Oriented Architecture*

SPICE – *Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis*

STI – Sistema Tutor Inteligente

SWAM – Sistema Web para Análise de Imagens digitais

TIC – Tecnologia de Informação e Comunicação

UCB – Universidade Católica de Brasília

UFAL – Universidade Federal de Alagoas

UFSC – Univerisdade Federal de Santa Catarina

UnB – Universidade de Brasília

USP – Universidade de São Paulo

XML – *eXtensible Markup Language*

## SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>13</b>
1.1	Contextualização e formulação do problema.....	13
1.2	Objetivos.....	15
1.3	Revisão de literatura.....	16
1.4	Organização do trabalho.....	19
<b>2.</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>20</b>
2.1	Gestão do conhecimento médico.....	20
	2.1.1 <i>Gestão do conhecimento</i> .....	20
	2.1.2 <i>Gestão do conhecimento em medicina</i> .....	24
2.2	Projeto inteligência artificial aplicada na modelagem e implementação de um consultório virtual.....	25
2.3	Sistemas tutores.....	28
	2.3.1 <i>Sistemas tutores inteligentes</i> .....	29
	2.3.2 <i>Sistemas tutores inteligentes e anatomia</i> .....	32
	2.3.3 <i>Sistemas tutores inteligentes e agentes inteligentes</i> .....	34
	2.3.4 <i>Ontologias</i> .....	36
	2.3.5 <i>Sistemas tutores inteligentes e ontologias</i> .....	42
	2.3.6 <i>Validação de sistemas tutores inteligentes</i> .....	43
2.4	MATHEMA e E-MATHEMA.....	44
2.5	Realidade Virtual.....	48
	2.5.1 <i>Modelagem de objetos tridimensionais</i> .....	50
	2.5.2 <i>Framework de manipulação tridimensional</i> .....	53
	2.5.3 <i>Dispositivos de entrada e saída para realidade virtual</i> .....	53
	2.5.4 <i>Sistema tutor inteligente e realidade virtual na medicina</i> .....	59
	2.5.5 <i>Simulação de procedimentos cirúrgicos</i> .....	61
	2.5.6 <i>Ergonomia de interfaces</i> .....	65
<b>3.</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	<b>67</b>
3.1	Classificação da pesquisa.....	67
3.2	Pressupostos.....	67
3.3	Coleta e análise de dados.....	67
3.4	Delimitação do estudo.....	67
3.5	O modelo proposto.....	68
	3.5.1 <i>Arquitetura do ASM</i> .....	68
	3.5.2 <i>Material de suporte para a construção do ASM</i> .....	82
	3.5.3 <i>Restrições</i> .....	84
<b>4.</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	<b>85</b>
4.1	Protótipo de validação da arquitetura.....	85
4.2	Validação.....	94
4.3	Análise dos resultados.....	98
4.4	Publicações.....	101
<b>5.</b>	<b>CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS</b> .....	<b>103</b>
5.1	Conclusões.....	103
5.2	Trabalhos futuros.....	104
	<b>REFERÊNCIA</b> .....	<b>106</b>
	<b>ANEXO A – Detalhamento da formalização do conhecimento</b> .....	<b>111</b>
	<b>ANEXO B – Molagem no software protegé</b> .....	<b>115</b>

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1 Contextualização e formulação do problema

A Informática aplicada à área de Saúde vem ganhando destaque nos últimos anos. Ela vem contribuindo, por exemplo, para o processo de tomada de decisão médica, auxiliando e sugerindo diagnósticos, bem como no aperfeiçoamento do ensino médico. No que diz respeito à tecnologia da informação disponível hoje para a área de saúde, de acordo com Orgun e Vu (2005), é possível dar um salto de qualidade por meio de ambientes capazes de prover rapidamente dados selecionados, lapidados e modelados de forma a apoiar o processo decisório médico.

A Informática em Saúde vem fazendo uso de novas ferramentas e tecnologias da computação, como é o caso da Inteligência Artificial (IA), Realidade Virtual (RV), Multimídia, Hipermídia e Internet. Ainda não sendo suficiente o uso de tais ferramentas e tecnologias, atualmente, busca-se a associação das mesmas, com o objetivo de obter maior precisão das informações médicas manipuladas.

Mais especificamente, a demanda da área médica pela inovação do ensino é evidenciada pelo crescente surgimento de Sistemas Tutores Inteligentes (STI) destinados a diversas áreas da Saúde, tais como: Anatomia, Fisiologia, Patologia e simulação de procedimentos cirúrgicos. A anatomia humana é uma das disciplinas básicas no ensino das ciências da saúde, sendo até mesmo para o médico uma necessidade freqüente de consulta a livros-texto, a atlas de anatomia e a utilização de cadáveres.

Os livros-texto possibilitam consultas e descrevem as estruturas anatômicas e suas inter-relações, referenciando-as, com certa freqüência, as ilustrações, sendo em geral difícil para o leitor imaginar as complexas relações tridimensionais da anatomia, importante para o correto entendimento do problema. Quanto aos atlas, eles são compostos de uma coleção de desenhos e fotografias de partes reais dissecadas, enfocando os principais detalhes da anatomia, representando, cada ilustração, a síntese do conhecimento do desenhista especializado e, portanto, podendo resultar em abstrações das principais regiões e órgãos. Já os cadáveres proporcionam o estudo da anatomia geral diretamente nos órgãos, através de inspeção visual e a dissecação. Embora essa prática seja a mais informativa para o aprendiz de

anatomia, a baixa viabilidade, alto custo e considerações éticas restringem seu uso.

A RV tem se mostrado uma opção interessante no ensino de anatomia, pois pode ser usada no treinamento e ensino com custos reduzidos e mantendo o aspecto ético, além de permitir uma experiência com uma variedade maior de estruturas, patologias e particularidades, sendo possível repetir ou refazer procedimentos de treinamento sem custos adicionais. Nesse sentido, diversos projetos vêm sendo conduzidos, sendo, na sua maioria, produtos comerciais em plataformas proprietárias como *Simbionix (Simulation to Advance Clinical Performance)*<sup>1</sup> e *HitLab (Human Interface technology Laboratory)*<sup>2</sup>.

A visualização é de fundamental importância no ensino da anatomia humana, já que a educação médica é fortemente orientada a imagens. A maioria dos sistemas tutoriais existentes voltados a essa área explora principalmente o uso de multimídia e hipermídia, com imagens estáticas, gráficas ou vídeos. Além disso, a possibilidade de uso de movimentação de câmeras, translação e texturização de objetos, janelas intercaladas de visualização, conteúdo incorporado no ambiente 3D, identificação sucinta das extremidades da estrutura anatômica e sensação de imersão em ambiente tridimensional (3D), têm grande potencial de apoio ao ensino e ao aprendizado médico.

No entanto, associadas a essas tecnologias de RV, é preciso a integração de conteúdos textuais, a constante inserção de novos objetos e os cuidados relativos às inovações em ergonomia do ambiente e das ferramentas de navegação 3D. Além disso, os profissionais da área médica são unânimes em afirmar a importância do contato manual com as estruturas biológicas para correta compreensão dos detalhes, dimensões, texturas e propriedades físicas dessas, tais como seu peso, rigidez e elasticidade. Daí a necessidade de integração com interfaces de contato (MORIS, SEWELL e BLEVINS, 2004).

Atualmente, o desenvolvimento de simuladores de procedimentos cirúrgicos e hardware de contato (isto é, *Haptic Device*) é uma necessidade da área da Saúde. Mas só algumas poucas empresas vêm investindo nesse ramo, como a *SensAble – Technologies for haptic devices*<sup>3</sup>, a *Sensoray – Embedded electronics*<sup>4</sup>, a *Mpb–Technology*<sup>5</sup> e a *Force*

---

<sup>1</sup> <http://www.simbionix.com>

<sup>2</sup> <http://www.hitl.washington.edu/home>

<sup>3</sup> <http://www.sensable.com>

<sup>4</sup> <http://www.sensoray.com>

<sup>5</sup> <http://www.mpb-technologies.ca>

*Dimension – Technologies for haptic devices*<sup>6</sup>, bem como a *Simbionix*, que desenvolve simuladores para diversos procedimentos cirúrgicos. Entretanto, tais plataformas são proprietárias e pagas. Neste sentido, já existe um *framework*, CHAI 3D (CONTI, 2006), de característica *OpenSource*, que possibilita a construção de interfaces 3D com interação háptica.

Em relação ao ensino anatômico, hoje, a maioria dos STI já desenvolvidos e disseminados busca enfatizar a relação texto e imagem em seqüência de aprendizado determinada por um especialista e auxiliados por agentes pedagógicos (BITTENCOURT, 2006). Com a possibilidade de interação com ambientes virtuais, o aprendiz ganha mais um artifício de estudo. Contudo, a semântica de aprendizado definida e modelada por um especialista não é estruturada no ambiente 3D, isto é, o ambiente virtual passa a ser um mero visualizador de objetos 3D. O objetivo desse trabalho é investigar a agregação ao ambiente virtual da mesma semântica de aprendizados definida para os STI, de forma a criar um canal de comunicação e interação entre STI e RV, por exemplo, pelo compartilhamento da mesma base de conhecimento.

Se, como visto, tanto a RV como os STI podem auxiliar o aprendizado da área da saúde, algumas questões merecem investigação: (i) As atuais técnicas de RV conseguem suprir as necessidades do aprendiz? (ii) Os equipamentos disponibilizados para tais ambientes atendem as necessidades das simulações? (iii) A ergonomia de interfaces dos tutores atuais está estruturada da melhor forma? (iv) A semântica de aprendizado dos STI pode ser incorporada à ambientes virtuais? (v) É possível a agregação da RV a uma ontologia do domínio?

Esta dissertação pretende estudar o uso da RV em STI destinados a ambientes de ensino médico. O resultado deste trabalho será a proposta de uma arquitetura de integração dessas duas áreas, com ênfase no ensino médico.

## 1.2 Objetivos

O objetivo geral deste trabalho consiste em investigar a associação de STI com ambientes de RV através da concepção de uma arquitetura que viabilize esta integração, tanto

---

<sup>6</sup> <http://www.forcedimension.com/fd/avs/home>

em termos de tecnologia quanto conteúdo.

Os objetivos específicos são:

- Identificar qual a melhor estrutura anatômica humana para iniciar os estudos;
- Pesquisar a modelagem ontológica da estrutura anatômica selecionada;
- Modelar em 3D a estrutura anatômica selecionada;
- Pesquisar técnicas e arquiteturas de construção de STI;
- Pesquisar técnicas de RV que contribuam para o ensino da anatomia humana;
- Pesquisar possíveis equipamentos que contribuam para o ensino em ambientes 3D;
- Pesquisar formas de incorporação de semântica de aprendizado em ambientes virtuais;
- Conceber uma arquitetura que relacione RV e sistemas tutores para a área da saúde;
- Desenvolver um protótipo da arquitetura em estudo;
- Validar o protótipo proposto com a supervisão e a orientação dos integrantes do projeto.

### 1.3 Revisão de literatura

Foram feitas pesquisas em bases bibliográficas especializadas contendo livros, teses, monografias e artigos tais como NCBI, PubMed, ACM, IEEE, EEVL, USP, UFSC e IBICT.

O *National Center for Biotechnology Information* (NCBI), mantido pela biblioteca nacional americana desde 1950, permite consultas em diversas bases de dados bibliográficos americanas, entre elas a central de publicações médicas *Publication Medicine* (PubMed). Quando pesquisada com a palavra-chave “Virtual Reality” retorna 706 trabalhos. Na mesma base, uma pesquisa com o argumento “Tutor System” retorna 618 trabalhos. Cruzando as duas pesquisas e, ainda associando o contexto da área de Saúde do PubMed, é possível obter dois trabalhos. Um outro foco também foi abordado na pesquisa: a ergonomia de interfaces e a RV. Combinando essas duas informações, a pesquisa retorna 13 trabalhos.

O mesmo ciclo de pesquisa foi realizado na base *The Internet Guide to Engineering, Mathematics and Computing* (EEVL), mantida por universidades britânicas. Retornando 400 trabalhos para a palavra-chave “Virtual Reality” e seis trabalhos para “Tutor System”, sendo que destes, quatro são direcionados à área da saúde.

Nas bases da *Association for Computing Machinery* (ACM) e do *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE), o mesmo ciclo de pesquisa resultou em 520 trabalhos sobre RV e 248 sobre STI na área da saúde. Combinando os temas, foram recuperados 25 trabalhos.

No Brasil, consultaram-se as bases da Universidade de São Paulo (USP), Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) e Instituto Brasileiro de Informações em Ciência e Tecnologia (IBICT). Sobre RV, foram encontrados 13 trabalhos na USP, 52 na UFSC e 214 no IBICT. Para o argumento “Sistemas Tutores”, foi encontrado apenas um trabalho na USP, sete na UFSC e 30 no IBICT. Combinando todos os argumentos e, ainda, o contexto de saúde, apenas o IBICT e a UFSC retornam três e dois resultados, respectivamente.

A seguir, uma breve descrição dos trabalhos (dissertações, teses e artigos) encontrados que têm relação com o objeto de estudo desta dissertação.

Em relação à definição da arquitetura de STI, a tese de doutorado de Costa (1997) destaca o uso desses sistemas com o objetivo de tornar mais efetivo o aprendizado e o ensino. Nesse contexto, um dos problemas fundamentais em boa parte da pesquisa em STI diz respeito à possibilidade de tal sistema prover ações individualizadas, adaptando-se ao perfil cognitivo do aprendiz. A arquitetura multi-agentes foi escolhida como base do trabalho, mostrando a pertinência de interações pedagógicas entre um aprendiz humano e uma sociedade de agentes tutores artificiais e a distribuição do domínio do conhecimento entre os agentes, facilitando o trabalho de cada sistema autônomo previamente instruído. A dissertação de mestrado de Bittencourt (2006) dá continuidade ao estudo de Costa com ênfase em uma estratégia de aprendizagem baseada em problemas, propondo um cenário onde agentes artificiais e humanos interagem com vistas a ajudar o aprendiz humano a entender certos problemas em um determinado domínio do conhecimento. Tanto Costa quanto Bittencourt enfatizam o uso de uma arquitetura multi-agentes de interação para a resolução de problemas. Entretanto, Bittencourt busca apresentar um enfoque tecnológico que facilita a construção de STI multi-agentes, inserindo um aspecto inovador: a interação dos agentes com uma base de conhecimento representada por ontologias.

Em relação à modelagem e formalização do conhecimento, Orgun e Vu (2005) enfatizam que a gerência de informação médica é uma atividade intensiva do conhecimento que requer um grau elevado de interoperabilidade através das várias entidades da gerência da

saúde. Uma base ontológica de sistemas multi-agentes provê uma estrutura de interações distribuída de informações médicas sem limitações, além de mapear o conhecimento de um ou mais especialistas.

Portanto, a partir das pesquisas realizadas em Bittencourt (2006) e Orgun e Vu (2005), pode-se, então, identificar um padrão de acesso à informação médica, uma vez que ambos utilizam uma base ontológica para descrição, representação e compartilhamento do conhecimento.

Em relação ao processo de ensino e aprendizado de STI, Curilem (2002) apresenta uma metodologia para construção de interfaces adaptáveis em sistemas tutores. A adaptação do ambiente onde ocorre o processo de ensino-aprendizagem pela integração de informações com conteúdos e formas significativas para o aprendiz, permite a interação do aprendiz com os objetos de estudo de acordo com suas preferências e capacidades pessoais. Para isto, foi estudada uma forma de combinar várias teorias cognitivas, como as Inteligências Múltiplas, os Estilos de Aprendizagem, o Construtivismo e o Comportamentalismo. Isso contribui para se obter estratégias e táticas de adaptação no sentido de selecionar os ambientes mais adequados para cada aprendiz.

A interseção dos conceitos de interação multi-agentes abordado por Bittencourt (2006) e a metodologia de interfaces adaptáveis apresentada por Curilem (2002) se mostra, então, promissora para o desenvolvimento de ambientes onde o aprendiz teria uma interface customizada para o seu perfil cognitivo.

O trabalho desenvolvido por Azevedo, Fernandes e Deters (1999) indica que o uso de RV em STI vai ao encontro da busca por novas maneiras eficientes de aprimoramento do aprendizado, pois dizem respeito a dois dos pontos importantes atualmente estudados em Educação: a do aprendizado personalizado e a da interação com o conhecimento.

Na confluência entre RV, STI e Saúde, Heinzen (2004) apresenta uma abordagem diferenciada do ensino convencional para a transmissão do conhecimento aplicado à neuroanatomia. Ele busca contornar as carências de ordem didático-pedagógica das disciplinas de Morfologia em instituições de ensino superior: falta de peças anatômicas, falta de monitores treinados para o auxílio de professores e aprendizes e dificuldade de visão espacial de estruturas internas. Para isso, é proposto um modelo de ambiente virtual inteligente que direciona e acompanha o ensino teórico/prático do conteúdo de neuroanatomia

humana. Basearam-se, também, em estudo exploratório do uso da *Web* com relação à acessibilidade, sendo essa utilizada como canal de comunicação e como recurso didático de apoio. Enfatiza-se, ainda, o uso de imagens tridimensionais e relacionam-se estruturas anatômicas com funções através de uma abordagem lúdica.

Uma vez que se optou pela utilização da abordagem de Bittencourt (2006) quanto à formalização do conhecimento via Ontologias no contexto de STI, associando-a a mecanismos de RV, foram buscados, nas bases bibliográficas, trabalhos que relacionassem RV a Ontologias. Nesse sentido, achou-se apenas uma menção à pertinência dessa associação, sem, no entanto, nenhuma proposta tecnológica efetiva (DAMERON e MUSEN, 2005).

#### **1.4 Organização do trabalho**

Este trabalho está organizado em cinco capítulos, incluindo este capítulo. No capítulo dois, é apresentada uma visão geral do referencial teórico deste trabalho, visando uma compreensão dos conceitos, metodologias e arquiteturas utilizadas como base dessa dissertação, tais como: *(i)* Gestão do Conhecimento, *(ii)* Sistemas Tutores Inteligentes, *(iii)* agentes inteligentes, *(iv)* Ontologias, *(v)* Realidade Virtual, *(vi)* modelagem de estruturas tridimensionais, *(vii)* interfaces hápticas, *(viii)* simulação de procedimentos cirúrgicos e *(ix)* ergonomia de Interface. A metodologia para utilização do modelo proposto é apresentada no capítulo três. No capítulo quatro são descritos os resultados obtidos. Por fim, as conclusões e sugestões de trabalhos futuros são apresentadas no quinto capítulo.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Gestão do conhecimento médico

#### 2.1.1 Gestão do conhecimento

A Gestão do Conhecimento (GC) pode ser vista como o conjunto de atividades que busca desenvolver e controlar todo tipo de conhecimento em uma organização, visando à consecução de seus objetivos. Esse conjunto de atividades deve ter como principal meta apoiar o processo decisório, em todos os níveis. Para tanto, é preciso estabelecer políticas, procedimentos e tecnologias que sejam capazes de coletar, distribuir e utilizar efetivamente o conhecimento, representando fator de mudança no comportamento organizacional (MORESI, 2001).

O conhecimento organizacional pode ser classificado em dois tipos (NONAKA e TAKEUCHI, 1997). O *conhecimento explícito* pode ser articulado na linguagem formal, sobretudo em afirmações gramaticais, expressões matemáticas, especificações, manuais e assim por diante. Esse tipo de conhecimento pode ser então transmitido, formal e facilmente, entre os indivíduos. O *conhecimento tácito* é difícil de ser articulado na linguagem formal. É o conhecimento pessoal incorporado à experiência individual e envolve fatores intangíveis como crenças pessoais, perspectivas e sistemas de valor.

As duas formas de interação entre o conhecimento tácito e o explícito e entre o indivíduo e a organização realizam quatro processos principais da conversão do conhecimento que, juntos, constituem a criação do conhecimento. A Figura 1 apresenta uma ilustração desses quatro processos, que são os seguintes (NONAKA e TAKEUCHI, 1997):

- Externalização (do tácito para o explícito) é um processo de articulação do conhecimento tácito em conceitos explícitos, ou seja, de criação do conhecimento perfeito, à medida que o conhecimento tácito se torna explícito, expresso na forma de analogias, conceitos, hipóteses ou modelos;
- Combinação (do explícito para o explícito), cujo modo de conversão do conhecimento envolve a combinação de conjuntos diferentes de conhecimento explícito;
- Internalização (do explícito para o tácito) é o processo de incorporação do conhecimento explícito no conhecimento tácito;

- Socialização (do tácito para o tácito) é um processo de compartilhamento de experiências e, a partir de aí, de criação do conhecimento tácito, como modelos mentais ou habilidades técnicas compartilhadas.



**Figura 1** - Conversão do conhecimento

Fonte: NONAKA e TAKEUCHI, 1997

A principal dinâmica da criação do conhecimento em uma organização é a interação entre essas duas formas de conhecimento. A criação do conhecimento organizacional é um processo em espiral em que a interação ocorre repetidamente (NONAKA e TAKEUCHI, 1997). Assim, a GC pode também ser vista como uma coleção de processos que governa a criação, disseminação e utilização do conhecimento para atingir plenamente os objetivos da organização (TEIXEIRA, 2001).

São inúmeros os modelos associados à GC. Stollenwerk (2001) descreve e analisa os seus principais modelos e propõe um modelo genérico que melhor caracterize a conceituação, a importância e, principalmente, a aplicabilidade da GC a processos intensivos em conhecimento nas organizações. A Figura 2 representa graficamente as diversas relações dos componentes do modelo.

**Identificação.** O primeiro processo do modelo genérico é a identificação do conhecimento. Esse processo está voltado para questões estratégicas. Dentre elas, a de identificar que competências são críticas para o sucesso da organização (competências essenciais). A identificação e o desenvolvimento das competências essenciais são fundamentais para a operacionalização da estratégia definida pela organização e para a realização de uma alta *performance* empresarial. Para cada competência essencial, deve-se identificar as diversas áreas de conhecimento que a sustenta, uma vez que essa identificação permitirá vislumbrar em que áreas a organização já possui *expertise* e para quais a organização terá de se

desenvolver ou adquirir. Essa avaliação deve ter tanto um enfoque operacional quanto estratégico. No enfoque operacional, consideram-se os conhecimentos, as habilidades e as tecnologias para apoiar as atuais competências essenciais; já no enfoque estratégico, examinam-se os conhecimentos e habilidades existentes que podem ser transferidos versus aqueles que devem ser adquiridos para apoiar o desenvolvimento de novas competências essenciais.



**Figura 2** - Modelo genérico de gestão do conhecimento

Fonte: STOLLENWERK, 2001

**Captura.** O processo de captura representa a aquisição e formalização de conhecimentos, habilidades e experiências necessárias para criar e manter as competências essenciais e áreas de conhecimento selecionadas e mapeadas. Nesse sentido, é importante conhecer as diversas fontes disponíveis (internas e externas), nas quais se pode efetivamente adquirir o conhecimento.

**Seleção e Validação.** Esses processos visam a filtrar o conhecimento, avaliar sua qualidade e sintetizá-lo para fins de aplicação futura. Nem todo o conhecimento gerado, recuperado ou desenvolvido deve ser armazenado na organização. É necessário determinar sua relevância, o seu grau de confiabilidade e identificação do conhecimento útil à organização.

**Organização e Armazenagem.** O objetivo desse processo é garantir a recuperação rápida, fácil e correta do conhecimento por meio da utilização de sistemas de armazenagem efetivos.

Quanto mais se formalizar o conhecimento, mais eficaz será o processo de organização e armazenagem. O conhecimento, a competência e a experiência informais ou não estruturados, dominados apenas individualmente e não compartilhados por meio de mecanismos adequados, são facilmente perdidos e esquecidos e não podem ser organizados e armazenados para aplicação em processos, produtos e serviços da organização. A armazenagem encontra-se bastante facilitada em função das tecnologias associadas à gestão da informação. O repositório de conhecimentos é um sistema computadorizado, no qual se encontram armazenadas informações sobre competências, conhecimentos, experiências e a documentação nas diversas áreas de interesse da organização.

**Compartilhamento: acesso e distribuição.** A prática das organizações demonstra que, em geral, muitas informações e conhecimentos permanecem restritos a um grupo pequeno de indivíduos. Além disso, mesmo quando disponíveis, não o estão em tempo hábil nem no local apropriado. Nessa questão, a facilidade de acesso torna-se ponto crítico do processo de compartilhamento. Para tal, o papel da tecnologia da informação e comunicação é vital para a disponibilização e compartilhamento de conhecimento em larga escala, tornando-o disponível em qualquer parte, a qualquer tempo e em qualquer formato.

**Aplicação.** Ainda que os conhecimentos, experiências e as informações estejam disponíveis e sejam compartilhados, é fundamental que sejam utilizados e, além disso, aplicados a situações reais da organização, visando produzir benefícios concretos. Nesse processo, cabe destacar a importância de registrar as lições aprendidas com a utilização do conhecimento, os ganhos obtidos e os desafios a serem ainda vencidos (novos conhecimentos necessários para a organização no futuro).

**Criação do Conhecimento.** O processo de criação de um novo conhecimento envolve as seguintes dimensões: aprendizagem, externalização do conhecimento, lições aprendidas, pensamento criativo, pesquisa, experimentação, descoberta e inovação. Stollenwerk (2001) constatou a importância do processo criação do conhecimento - comum a todos os modelos por ela estudados - e, dentro desse processo, a dimensão aprendizagem organizacional foi percebida como essencial para operacionalização do modelo. Concluindo, a atividade fundamental da Gestão do Conhecimento numa organização é mapear dinamicamente os conhecimentos, experiências e práticas, registrando e assegurando que o conhecimento esteja disponível nos locais de tomada de decisão e mantendo-os sempre atualizados.

### **2.1.2 Gestão do conhecimento em medicina**

A profissão médica tem sofrido significativas mudanças devido ao desenvolvimento e aos avanços científicos das áreas concernentes. Assim como na grande maioria das profissões atuais, profissionais da área médica devem constantemente se atualizar. A geração e comunicação de conhecimento por parte de médicos é, hoje, um importante elemento do sucesso e um desafio profissional.

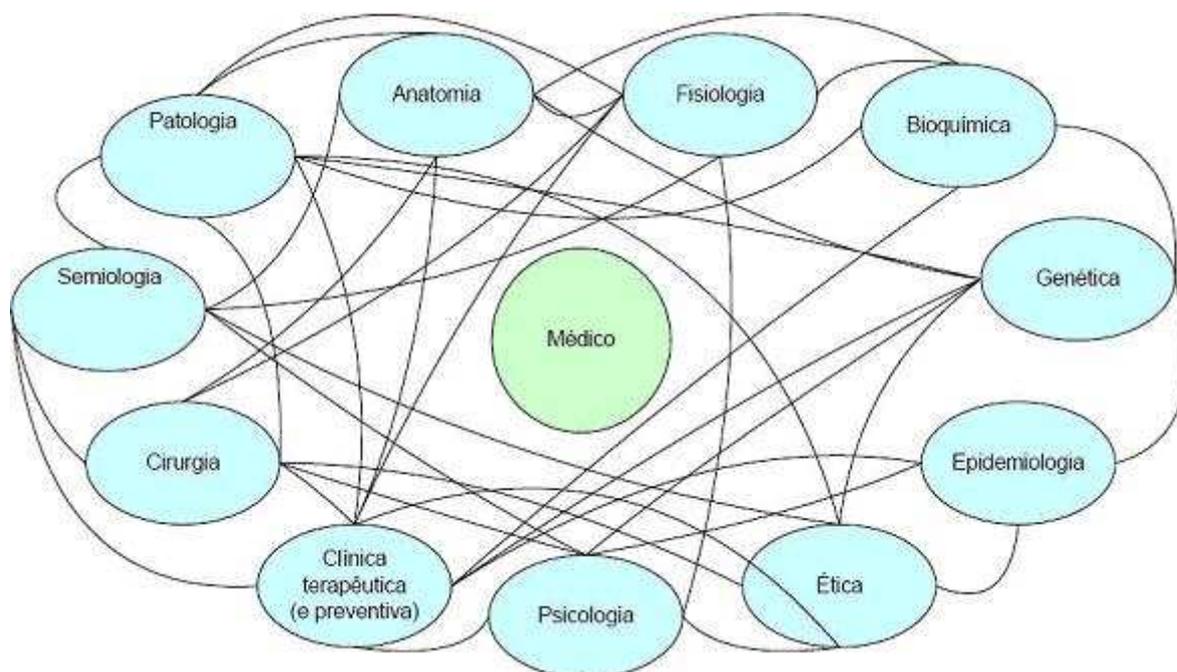
Por outro lado, segundo Davenport (1998), seres humanos aprendem melhor com histórias. Pesquisas recentes reforçam essa afirmação, mostrando que o conhecimento é comunicado com mais eficácia por meio de uma narrativa convincente, elegante e apaixonada. A utilização de narrativas é uma das melhores maneiras de ensinar e aprender coisas complexas. Na maioria das vezes, é possível estruturar histórias de forma a transmitir significado sem perda substancial de seu poder de comunicação. Davenport (1998) sugere que Raciocínio Baseado em Casos (RBC) é uma forma de combinar em computador o poder da narrativa com a codificação do conhecimento. A tecnologia envolve a extração do conhecimento de uma série de narrativas, ou casos, sobre a área de problema. RBC, diferentemente dos sistemas especializados, que exigem regras bem estruturadas e isentas de duplicidade, permite que as estruturas de casos possam refletir um pensamento.

É comum ter acesso ao conhecimento somente quando o seu portador (médico) tem tempo para compartilhá-lo ou mesmo perdê-lo definitivamente quando ele não está mais trabalhando. Dentro da atual visão de GC, isso é um fator de ameaça ao valor intangível das organizações de saúde. Estas empresas devem, portanto, ter estratégias para impedir tais perdas. Para dirimir tal problema, tem-se tentado disseminar o conhecimento ao máximo por meio de processos de orientação ou aprendizado para que conhecimentos tácitos importantes não se concentrem em uma única pessoa.

Neste sentido, o armazenamento do conhecimento tácito é de fundamental importância, pois provê uma base de dados especializada e uma facilidade de acesso ao conhecimento. Entretanto, existe um tipo de conhecimento que é de difícil representação que são as experiências passadas. Estas experiências são essenciais, pois reduzem a necessidade de ter um número considerável de questões desnecessárias, de ordenar testes de diagnósticos supérfluos e de tornar a tarefa de informação manejável e eficiente (KASSIRER, 1989).

A formalização do conhecimento em estruturas de ontologias é uma prática que vem

sendo adotada nos últimos anos, que permite a definição de classes de representação de conhecimento, padronização da semântica, relacionamento entre classes, propriedades e instancias de domínio (Figura 3).



**Figura 3** - Domínios do conhecimento médico

Fonte: <http://www.portalmedico.org.br/>

## 2.2 Projeto inteligência artificial aplicada na modelagem e implementação de um consultório virtual

O projeto Inteligência Artificial Aplicada na Modelagem e Implementação de um Consultório Virtual (IACVIRTUAL) é financiado pela Universidade Católica de Brasília (UCB) e seus subprojetos têm apoio financeiro de instituições tais como o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a Financiadora de Estudos e Pesquisa (FINEP). De caráter multidisciplinar, esse é um projeto que combina GC, Informática em Saúde e Engenharia de *Software*.

O projeto IACVIRTUAL (2004)<sup>7</sup> é um ambiente baseado em conhecimento cujo objetivo é simular um consultório virtual via *Web*. Ele foi concebido para atender:

- Pacientes interessados em acompanhar seu histórico médico;
- Especialistas interessados em um ambiente de apoio à decisão em diagnóstico e tratamento de seus pacientes;

- Aprendizes interessados na aprendizagem por meio do acompanhamento dos casos médicos disponíveis.

O projeto IACVIRTUAL é composto pelos seguintes módulos (Figura 4):

- SWAM, Sistema *Web* para Análise de Imagens digitais, cujo objetivo é apoiar o diagnóstico médico.
- O Módulo Educacional, que compreende dois sub-módulos: STI e RV, ambos conectados devido à metodologia empregada pelo STI, que provê um processo para organização do conteúdo do domínio de forma que uma das atividades a ser proposta considera a possibilidade de inclusão de simulações de ambientes de saúde, corpo do paciente, órgãos do paciente, cirurgias, etc. Os sub-módulos possuem os seguintes objetos:
  - O STI busca promover interações cooperativas entre um aprendiz e uma sociedade de agentes artificiais do tutor com o objetivo de promover a aprendizagem do aprendiz.
  - O RV consiste de conjunto de funcionalidades que permitem importar modelos volumétricos, codificados nos principais padrões existentes, e visualizar esses modelos através de uma interface gráfica interativa, onde o usuário dispõe de ferramentas básicas de navegação 3D.
- O Módulo de Apoio à Decisão oferece suporte ao diagnóstico médico e, indiretamente, subsidia o Módulo Educacional quanto à resolução de problemas. Ele é composto pelos seguintes sub-módulos:
  - O Sistema Especialista Híbrido (SEH), cujo conhecimento é representado por meio de um formalismo que integra regras de produção, redes neurais artificiais, algoritmos genéticos e lógica fuzzy (ROJAS et. al, 2003). Portanto, o SEH compreende os Sistemas Especialistas baseados em Redes Neurais artificiais (SERN) e os Sistemas Especialista Baseados em Regras (SEBR).
  - O RBC, no qual o conhecimento é representado por uma base de casos.
- O Módulo de Dados oferece uma base estruturada de dados e de casos, incluindo os dados clínicos, os elementos para o processamento de imagens e de sinais e para

---

<sup>7</sup> <http://200.199.205.50:8080/STI-UI/>

telemedicina.

- O Módulo de Interface, além dos elementos clássicos de hipermídia, oferece recursos de RV.
- O Módulo de Usuário prevê três níveis/tipos de usuários: o especialista, o paciente e o aprendiz. A interface da ferramenta se adapta de acordo com o perfil do usuário.

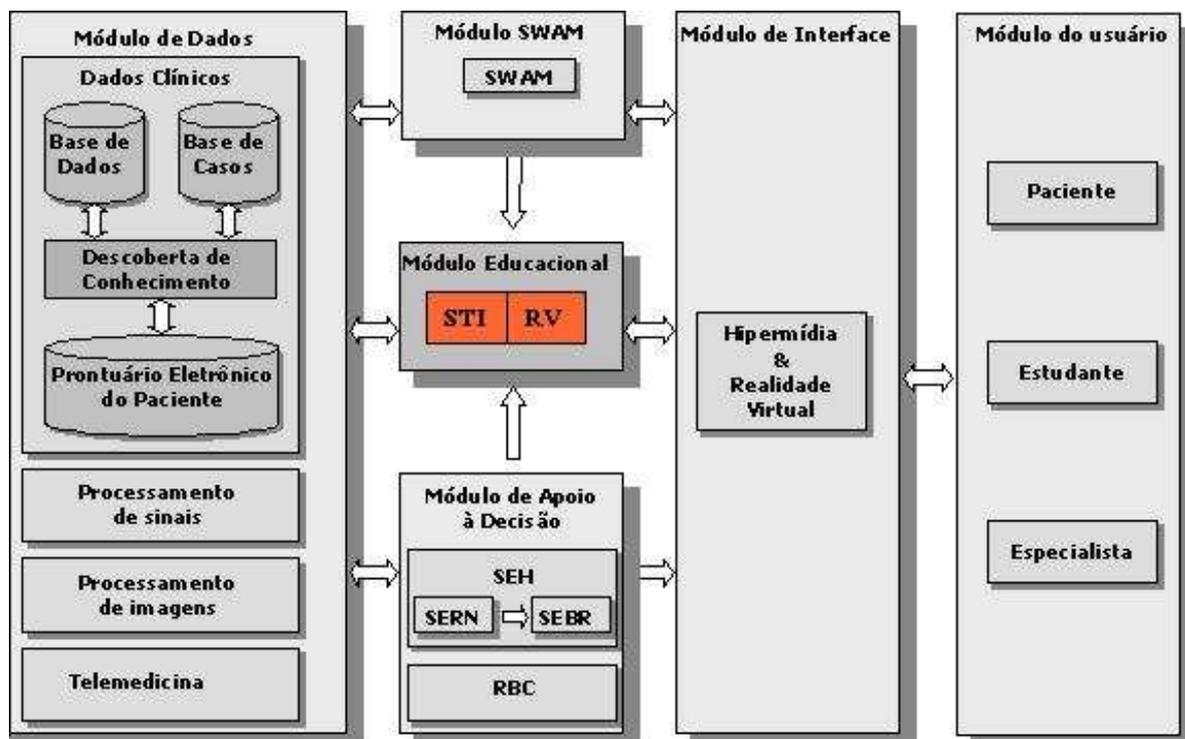


Figura 4 - Arquitetura IACVIRTUAL<sup>8</sup>

Fonte: Projeto IACVIRTUAL

Este trabalho diz respeito ao módulo educacional desenvolvido em conjunto com a UFAL, UFCG, UNB, UCB e financiado pela FINEP, com o objetivo de prover um STI destinado ao ensino da anatomia humana baseado em uma arquitetura já validada, que contribuirá para a construção deste trabalho.

<sup>8</sup> Desenvolvido no âmbito do Projeto IACVIRTUAL financiado pela FINEP e apoiado pela Universidade Católica de Brasília (UCB) e Universidade Federal de Alagoas (UFAL) com o objetivo de construir um STI destinado ao ensino da anatomia humana no período de 2005 a 2007.

### 2.3 Sistemas tutores

A idéia de utilizar o computador como uma “máquina de ensino” buscando automatizar o processo de aprendizagem, motivou os primeiros esforços da década de 60 na utilização de computadores para suporte às atividades docentes. Nessa época, as tentativas nesse sentido baseavam-se em apresentar o material instrucional selecionado pelo professor ou especialista, de forma estruturada obedecendo a uma determinada seqüência. Não havia previsão de escolhas por parte do aprendiz. Os sistemas basicamente ofereciam duas opções para que o aprendiz escolhesse a solução do problema. A modelagem era apoiada em textos e exercícios associados, onde os aprendizes adquiriam conhecimento e habilidades em um determinado domínio (conteúdo) (COSTA, 1997).

Neste período, também, os softwares reproduziam o sistema expositivo de ensino, que permeava o sistema educacional da época. Uma porção do conteúdo era apresentada em uma ou mais telas (no início interfaces orientadas a caracteres, sem gráficos ou desenhos), e a interação limitava-se quase que exclusivamente em apertar a tecla <ENTER> para mudar de tela. Após a seqüência de telas, onde o conteúdo era disponibilizado, era apresentado o bloco de exercícios. Estes eram de escolha simples ou de escolha múltipla. Essa forma de ensino computadorizado recebeu o nome de *Computer Assisted Instruction* (CAI). Eles eram impessoais, sob o ponto de vista instrucional, e não objetivavam nenhum tipo de personalização levando em conta o perfil do usuário (aprendiz).

Na década de 70, foi apresentada uma nova proposta sobre como tratar a questão da “aprendizagem-computadorizada”. Carbonell (1970) propôs o sistema denominado *Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis* (SPICE), uma nova maneira de conceber sistemas educacionais, levando em consideração a forma como o professor estrutura e desenvolve o conteúdo em sala de aula. Ou seja, considerando a dinamicidade que existe na relação aprendiz-professor. Ele se baseou no fato de que numa situação de sala de aula o professor observa os aprendizes e faz uma verificação constante do que está acontecendo durante o andamento das atividades na sala de aula. Então, isto deveria ser possível de ser modelado em um software educacional. No entanto, apesar de ser uma idéia aparentemente “simples”, trata-se de uma tarefa de alta complexidade, tanto em nível de modelagem, como de implementação.

O professor recebe “*feedback*” dos aprendizes tanto na forma verbal como na forma de

atitudes observadoras (movimentos dos olhos, expressão do corpo, etc.). Quando ele aplica um exercício ou teste, é possível medir ou inferir o estado cognitivo corrente do aprendiz (indicador do seu aproveitamento). A partir da avaliação destes dados, ele muda seu comportamento (estratégias) e táticas para atuar junto ao aprendiz.

Esta dinâmica de sala de aula é que se pretende “transferir” ao sistema, isto é, a idéia de buscar uma instrução mais personalizada, ou menos impessoal. Ao contrário dos CAI, estes novos sistemas não realizariam a tarefa de ensinar de uma forma única, mas como uma estrutura orientada à informação, onde o conteúdo que o sistema possui é representado computacionalmente através de diversas formas de representação do conhecimento. No sistema proposto por Carbonell (1970), o conteúdo era representado por redes semânticas. Desta forma, o sistema mantinha um diálogo com o aprendiz, através do formato textual, utilizando um subconjunto da língua natural em que o sistema foi desenvolvido. O sistema se baseava nos avanços da área de IA.

### ***2.3.1 Sistemas tutores inteligentes***

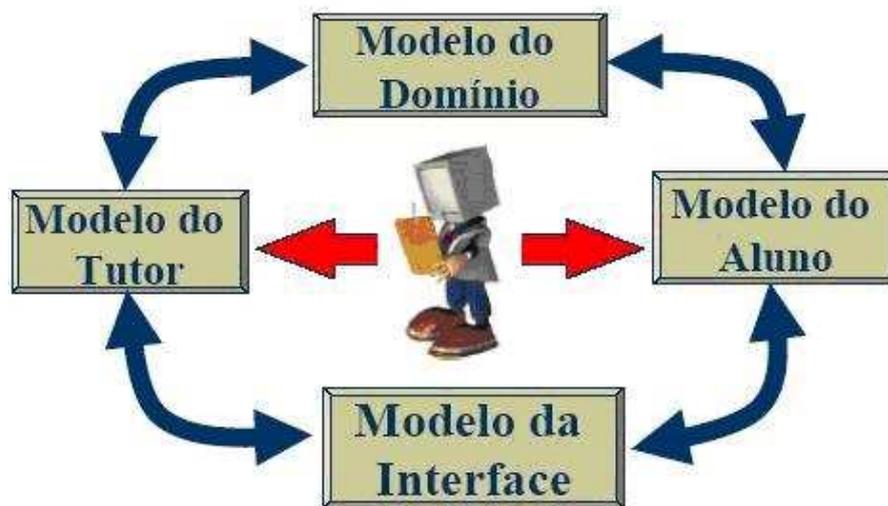
Etimologicamente, a palavra inteligência vem do latim *inter* (entre) e *legere* (escolher), significando aquilo que nos permite escolher entre uma coisa e outra. Inteligência é a habilidade de realizar de forma eficiente uma determinada tarefa (LUGER, 1998). Os sistemas tutores ditos inteligentes diferem dos demais pela intervenção da IA em diversos de seus componentes.

A palavra artificial vem do latim *artificiale*, significando algo não natural, isto é, produzido pelo homem. Portanto, IA é um tipo de inteligência produzida pelo homem para dotar as máquinas de algum tipo de habilidade que simula a inteligência do homem (LUGER, 1998). O termo "Artificial Intelligence" foi criado por John McCarthy durante o famoso *Workshop* do *Dartmouth College*, ocorrido durante dois meses no verão de 1956. Aquele foi o primeiro encontro de cientistas oficialmente organizado para discutir aspectos de inteligência e sua implementação em máquinas.

Devido a impossibilidade de uma definição formal precisa para IA, visto que para tanto seria necessário definir, primeiramente, a própria inteligência, foram propostas algumas definições operacionais (FEIGENBAUM, 1988): “uma máquina é inteligente se ela é capaz de solucionar uma classe de problemas que requerem inteligência para serem solucionados

por seres humanos"; "Inteligência Artificial é a parte da ciência da computação que compreende o projeto de sistemas computacionais que exibam características associadas, quando presentes no comportamento humano, à inteligência"; ou ainda "Inteligência Artificial é o estudo das faculdades mentais através do uso de modelos computacionais". Outros se recusam a propor uma definição para o termo e preferem estabelecer os objetivos da IA: "tornar os computadores mais úteis e compreender os princípios que tornam a inteligência possível" (WINSTON, 1992).

Os STI, uma das linhas de pesquisa da IA, são programas de computador com propósito educacional, podendo simular o processo do pensamento humano para auxiliar na resolução de problemas ou em tomadas de decisões (FOWLER, 1991). Em STI, dá-se o adjetivo de "Inteligente" com o objetivo de identificar sistemas com a capacidade de resolver os problemas apresentados pelo aprendiz e explicar como o fez, tornando individualizado o processo de ensino (FREEMAN, 2000). Por conseguinte, a sistematização do conhecimento pedagógico a ser colocado no tutor consiste na tarefa mais complexa de toda a arquitetura, no que concerne à modelagem e implementação. No entanto, desde o início da pesquisa em IA e Educação (IA-ED), a necessidade de inserir mecanismos de apoio à aprendizagem, tais como estratégias e táticas de ensino, baseadas naquelas utilizadas pelos professores em sala de aula, é um dos grandes desafios na pesquisa desta área. Neste sentido, uma das sugestões encontradas na literatura para esse problema é apresentada na arquitetura clássica de STI da Figura 5.



**Figura 5** - Arquitetura Básica de STI

Fonte: ANDRADE, et al., 2003

Mais precisamente, um STI é um sistema computacional que faz o tutoramento de um aprendiz a respeito de um dado conteúdo (conhecimento do domínio). O STI modela o entendimento do aprendiz sobre um tópico e à medida que ele realiza determinadas tarefas no sistema (ou seja, ele interage com o sistema realizando tarefas colocadas por este) compara o conhecimento do aprendiz com o modelo que ele tem de um especialista do domínio. Se existir uma diferença, o sistema pode usar o seu modelo de domínio para gerar uma explicação que vai auxiliar o aprendiz a compreender o que ficou mal entendido ou solicitar a cooperação ou colaboração de outros aprendizes que utilizam o sistema. Além disso, o sistema pode também ajustar os níveis e estilos de aprendizagem do aprendiz e apresentar a informação, os testes e o *feedback* que são mais apropriados. Para o desenvolvimento de STI é possível utilizar diferentes técnicas da IA, tais como: Sistemas Especialistas, Redes Bayesianas e Agentes Inteligentes (MCCALLA, 2000).

A técnica de Sistemas Especialistas emprega informações nem sempre completas manipulando-as através de métodos de raciocínio simbólico sem seguir modelos numéricos, para produzir aproximações satisfatórias ou aproximações úteis. Sendo assim, quanto mais completa e corretamente estiver representado o conhecimento, melhor será a saída do sistema. Para tanto, faz-se necessária a aquisição de conhecimento, o uso de heurísticas, de métodos de representação de conhecimento e de máquinas de inferência (BITTENCOURT, 1993).

Na utilização do teorema de Bayes, a ocorrência de independência condicional entre variáveis aleatórias que descrevem os dados pode simplificar os cálculos para responder perguntas e também reduzir consideravelmente o número de probabilidades condicionais que precisam ser especificadas. A estrutura de dados chamada Redes Bayesianas representa a dependência entre as variáveis e de uma especificação concisa da distribuição de probabilidade conjunta (MITCHELL, 1997).

Um Agente Inteligente (AI) é qualquer entidade que possa receber informações do ambiente em que vive por meio de sensores, e agir nesse ambiente através de atuadores. Com base nesse conceito, Russel e Norvig (2002) definem que AI é o estudo de como projetar agentes que atuem no ambiente buscando ter o máximo sucesso possível, o que requer que tenha uma forma de definir o sucesso do agente, uma medida de *performance*.

Um outro assunto a ser abordado em STI, diz respeito aos métodos de ensino. Um desses métodos, que tem sido bastante discutido nos últimos anos, é baseado em investigação.

Estes sistemas procuram explorar aspectos que os STI tradicionais não consideraram. Alguns autores, como McArthur, Lewis e Bishay (1993), acreditam que estes sistemas, de modo genérico, podem ser entendidos como ambientes de ensino interativos, isto é, *Interactive Learning Environment* (ILE). Os principais princípios associados a estes ambientes e destacados por McArthur, Lewis e Bishay (1993) são:

- Construção e não instrução: o objetivo é explorar o fato de que aprendizes podem aprender mais efetivamente através da construção de seu próprio conhecimento.
- O controle é do aprendiz e não do tutor: a questão é dar mais liberdade para o aprendiz controlar suas interações no processo de aprendizado. O tutor deve atuar como um guia, e não como o único detentor do conhecimento.
- A individualização é determinada pelo aprendiz e não pelo tutor: diferentemente dos sistemas STI, a personalização da informação é o resultado da interação com o ambiente. Esta responsabilidade pode estar também associada ao sistema, mas o aprendiz ainda terá uma boa parte do controle de sua individualização.
- O conhecimento adquirido pelo aprendiz é resultado de suas interações com o sistema e não com o tutor: a informação adquirida vem em função das escolhas e ações do aprendiz no ambiente de ensino e não como um discurso gerado pelo tutor.

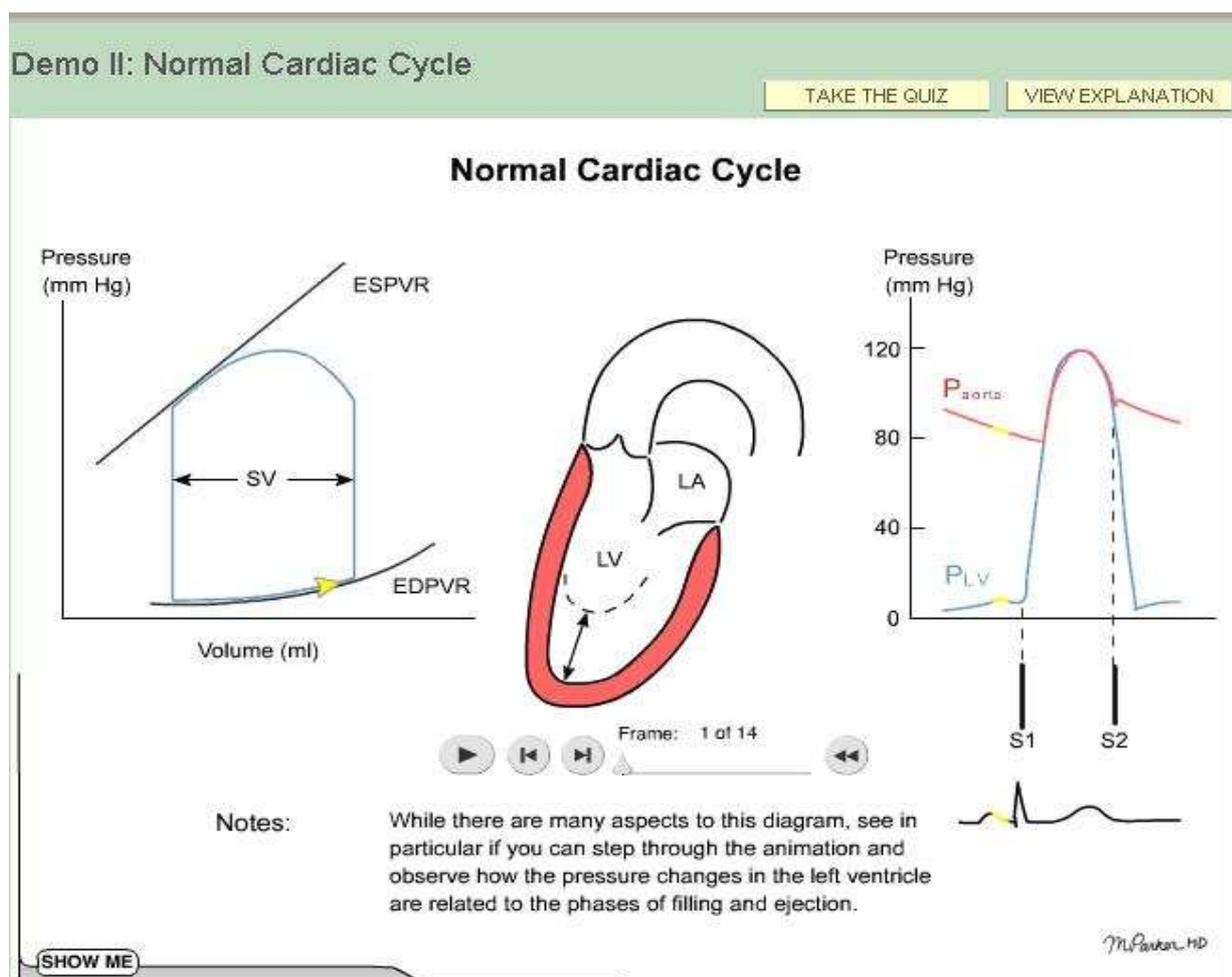
Estes princípios apresentam uma clara mudança no enfoque de aprendizado dos sistemas STI para ambientes ILE. O processo deixa de ser centrado no tutor e passa a ser centrado no aprendiz. Sendo assim, torna-se necessária uma nova gama de ferramentas computacionais. Estas ferramentas incluem, frequentemente, vídeo interativo ou outras representações gráficas, e permitem aos aprendizes investigar e aprender tópicos de forma livre, sem estarem presos a algum tipo de controle externo.

### ***2.3.2 Sistemas tutores inteligentes e anatomia***

O surgimento de novas tecnologias nos projetos didático-pedagógicos nas instituições de ensino superior estão promovendo uma redefinição de programas de aprendizagem. Por exemplo, novas propostas metodológicas para ministrar as disciplinas morfológicas das áreas de saúde, que ministram o conteúdo de anatomia humana, têm gerado uma expressiva demanda de ferramentas educacionais *on-line* (SABBATINI, 1994; PUPPE, et al. 1995;

HASMAN, 1998; MIRISOLA, et al. 1999; FERREIRA, 2000; AXER, et al. 2001; DREISEITL, et al. 2003). Poucos, porém, são os programas que demonstram claramente uma melhora sobre as modalidades tradicionais, suprimindo de forma real as necessidades dos aprendizes (LETTERIE, 2003).

As disciplinas de anatomia humana vêm sendo ministradas nas escolas médicas, de informática biomédica e de engenharia biomédica brasileiras, através de aulas expositivas com o auxílio de gravuras em transparências, diapositivos e textos associados a aulas práticas, mediante a dissecação de cadáveres e ou peças anatômicas isoladas, que nem sempre podem ficar à disposição dos aprendizes para estudo ou revisão. Neste aspecto, a tecnologia de STI está sendo introduzida no aprendizado das áreas da saúde de modo a suprir as deficiências na formação dos aprendizes que cursam as disciplinas na área de morfologia, como pode ser observado na Figura 6, que apresenta uma tela do sistema *Human Systems Explorer* de exemplificação do funcionamento do ciclo de batimentos cardíacos.



**Figura 6 - Human Systems Explorer: exemplo de STI baseado em imagens estáticas**

**Fonte:** <http://athome.harvard.edu/programs/hse/bio.html>

### 2.3.3 Sistemas tutores inteligentes e agentes inteligentes

#### Agentes Inteligentes

Hoje, na comunidade científica, não existe uma definição universal de AI. Porém, Jennings e Wooldridge (1998) afirmam que um agente é um sistema de computador que funciona em algum ambiente, tendo a capacidade de tomar ações autônomas e flexíveis dentro dele para alcançar os objetivos que nele foram projetados. Com uma definição mais genérica, Russell e Norvig (1995) afirmam que um agente é um elemento que percebe o ambiente ao seu redor através de sensores e age sobre o mesmo.

Com a crescente complexidade dos problemas tratados, os sistemas computacionais modelados como um agente único têm cada vez mais dificuldades de gerenciar funcionalidades, isto é, um único módulo pode não ser capaz de processar de forma eficiente as diversas solicitações de processamento. A capacidade de um único agente é limitada pelo seu conhecimento, seus recursos computacionais e sua perspectiva (SYCARA, 1998). As propostas dos Sistemas Multi-Agentes (SMA), por sua vez, oferecem a modularidade como uma nova dimensão para lidar com esses complexos problemas.

Segundo Sycara (1998), as características dos SMA são as seguintes: *(i)* cada agente tem informações ou capacidades incompletas para a resolução do problema; *(ii)* não há um sistema global de controle; *(iii)* os dados são descentralizados; *(iv)* o processamento computacional é assíncrono. As motivações para o surgimento e interesse pelos SMA foram:

- Resolver problemas que são muito grandes para um agente centralizado, devido a limitações de recursos;
- Permitir a interconexão e interoperação de múltiplos sistemas legados;
- Fornecer soluções a problemas que podem ser naturalmente considerados como uma sociedade de componentes autônomos que interagem entre si;
- Viabilizar soluções que eficientemente usam fontes de informações distribuídas, como por exemplo, informações colhidas da internet; e,
- Dinamizar o desempenho ao longo das dimensões de *(i)* eficiência computacional, onde a concorrência na computação é explorada; *(ii)* confiabilidade, onde se pode facilmente recuperar falhas nos componentes; *(iii)* extensibilidade, porque o número e as capacidades dos agentes trabalhando em um problema podem ser alterados; *(iv)*

robustez, onde existe a habilidade do sistema em suportar a incerteza, porque informações importantes são trocadas entre os agentes; (v) manutenibilidade, porque um sistema composto de diversos agentes é mais fácil de manter por causa da sua granularidade; (vi) capacidade de resposta, porque a modularidade pode lidar com as anomalias localmente; (vii) flexibilidade, porque existem agentes com diferentes habilidades e eles devem se adaptar e se organizar para resolver um problema; e (viii) reuso, porque a funcionalidade específica de cada agente pode ser reusada em diferentes momentos de agentes para resolver os problemas.

Os AI estão sendo utilizados para implementar diversos sistemas STI, uma vez que cada componente do ambiente pode ser implementado como um agente independente, possuindo facilidades de interação com os outros agentes (BRADSHA, 1997). A abordagem por agentes possibilita o desenvolvimento de diferentes raciocínios e a integração de várias ações para alcançar um determinado objetivo (MARIETTO, OMAR e FERNANDES, 1997). Além disso, a utilização de AI é uma boa opção para reduzir o custo destes sistemas, pois favorece a modularização e a evolução.

Existem diversos exemplos na literatura sobre a utilização de AI em sistemas educacionais. Segundo Shoham (1993), uma sociedade de agentes pode ser a solução para a construção de ambientes de ensino e aprendizagem, se os agentes trabalham de uma maneira concorrente e autônoma para alcançar seus objetivos. Nesses ambientes, os agentes são considerados autônomos, isto é, suas atividades não requerem constante supervisão externa e não há autoridade central projetada para controlar todas as interações desempenhadas entre os agentes. Costa (1997) e de D'Amico, Viccari e Alvarez (1997) apresentam arquiteturas para ambientes de ensino/aprendizagem baseados em agentes, apenas para citar alguns dos trabalhos pioneiros no Brasil.

### **Tecnologia de Construção de Agentes Inteligentes**

Para tratar o desenvolvimento de um STI através de uma abordagem Multi-Agentes, é necessário o uso de uma plataforma que suporte trabalhar com tal tecnologia, por exemplo, a plataforma Java Agent DEvelopment (JADE), baseada nas especificações de plataformas de sistemas multi-agentes da *Foundation for Intelligent Physical Agents* (FIPA). A especificação FIPA corresponde a um conjunto de padrões que visam regulamentar e promover a interoperabilidade entre agentes heterogêneos e serviços FIPA. A FIPA é formada por

companhias e organizações cujo objetivo é produzir uma especificação para tecnologia genérica de agentes. Visava-se chegar a um consenso e a uma especificação que padronizasse o comportamento externo dos componentes de sistema, deixando detalhes de desenvolvimento e de arquitetura para os desenvolvedores. Utilizando uma abordagem onde plataformas de agentes dão suporte ao ciclo de vida de comunidades de agentes, tal padrão busca auxiliar uma interoperabilidade em nível de agentes e de plataforma na realização da especificação (RIMASSA, 2003).

O conceito do *software* agente não é algo fácil de ser definido, sendo que as mais diversas comunidades de pesquisadores usam a definição que eles acham mais apropriada e trabalham as propriedades dos agentes sobre essa definição. A plataforma JADE define como características fundamentais de agentes o fato de serem autônomos (tomada de ações sem estímulo externo) e a sua capacidade de socialização (capacidade de interagir com outros agentes). Visto que os agentes na plataforma JADE têm essas características, torna-se transparente para o desenvolvedor a aplicação dos conceitos existentes na especificação FIPA para a implementação de agentes quando utilizada a plataforma. E, de acordo com essa especificação, uma das características obrigatórias dos agentes é a organização do ciclo de vida dos mesmos. Esse ciclo de vida é trabalhado em um modelo de uma máquina de estados finitos.

#### **2.3.4 Ontologias**

Ontologia é “uma maneira de conceituar de forma explícita e formal os conceitos e restrições relacionados a um domínio de interesse” (GUARINO, 1998). Em outras palavras, ontologia é um modelo abstrato com o intuito de representar conceitos de um determinado domínio de forma clara e objetiva. Já Gruber (1993) complementa que é importante uma ontologia possa ser também formal e compartilhada, isto é, ela deve ser formal no intuito de ser processável por máquinas e poder ser compartilhada por um grupo de pessoas. Outra característica importante sobre ontologia é ressaltada e remete ao fato de que uma ontologia não pode ser tratada apenas como uma hierarquia de conceitos, mas também como um conjunto de relações, restrições, axiomas, instâncias e vocabulário.

A partir das definições de Guarino (1998), conclui-se que uma ontologia é a descrição de um determinado domínio, o qual deve ser formal, compartilhável e composto por um

conjunto de conceitos e regras bem formalizadas. São inúmeros os benefícios quando se define um domínio de interesse com ontologias, como: compartilhamento do conhecimento, aplicação de uma ontologia genérica para um domínio de conhecimento específico e compreensão semântica dos dados do domínio. Para garantir que uma ontologia seja construída com qualidade, é necessário definir o domínio de conhecimento com objetividade, descrevendo o conhecimento essencial ao domínio e definindo um vocabulário que evite interpretações ambíguas (GRUBER, 1993).

De acordo com Fensel (2001), uma ontologia deve ser explícita e formal e deve descrever um conhecimento comum a um grupo específico em uma certa área de domínio. Para Gómes, López e Corcho (1999), ontologia é definida como “um conjunto de termos ordenados hierarquicamente para descrever um domínio que pode ser usado como um esqueleto para uma base de conhecimentos” e “fornece um vocabulário comum de uma área e define, com níveis distintos de formalismos, o significado dos termos e dos relacionamentos entre eles”. Conforme essa descrição, uma ontologia deve possuir um conjunto de termos organizados com uma hierarquia associada, ou seja, uma taxonomia. Outro detalhe dessa descrição é apresentar uma das principais utilidades de uma ontologia que é a de servir como um esquema para uma base de conhecimentos, visão essa muito comum dentro do ramo da gestão de conhecimento.

Analisando as definições apresentadas pelos autores, é possível identificar as seguintes vantagens com o uso de ontologias:

- Ontologias fornecem um vocabulário para representação do conhecimento. E esse vocabulário é sustentado por uma conceituação, evitando assim interpretações ambíguas;
- Ontologias permitem o compartilhamento de conhecimento. Sendo assim, caso exista uma ontologia que modele adequadamente certo domínio de conhecimento, essa pode ser compartilhada e usada por pessoas que desenvolvam aplicações dentro desse domínio;
- É possível fazer o mapeamento da linguagem da ontologia sem que com isso seja alterada a sua conceituação, ou seja, uma mesma conceituação pode ser expressa em várias línguas;
- Uma ontologia fornece uma descrição exata do conhecimento, diferentemente da

linguagem natural em que as palavras podem ter semântica totalmente diferente conforme o seu contexto, podendo ser escrita em linguagem formal. Por exemplo, quando uma pessoa fala para outra a palavra “Globo” ela pode estar querendo falar a respeito de um corpo esférico, como também de um canal de televisão brasileiro. A interpretação da palavra pode ser atribuída a um conceito ou outro conforme o estado mental do indivíduo;

- Pode ser possível estender o uso de uma ontologia genérica de forma que ela se adeque a um domínio específico. Por exemplo, se alguém precisa de uma ontologia sobre bicicletas para construir uma aplicação e só encontra uma ontologia sobre o domínio genérico de veículos, pode utilizar essa ontologia estendendo-a para o domínio específico da aplicação, que no caso são de bicicletas. Essas são as principais vantagens da utilização de ontologias. Existem muitas outras vantagens, porém a maioria é decorrente dessas.

Numa ontologia, existem, geralmente, três tipos de informação, de modo a facilitar a compreensão dos diferentes níveis de abstração, as quais são elencadas a seguir (BEZIVIN e LEMESLE, 1997):

- Terminológica: é a camada de definição da ontologia, onde se representa o conjunto de conceitos e das relações do domínio;
- Assertiva: denominada de camada de axiomas da ontologia, constitui-se do conjunto de proposições verdadeiras que se aplicam aos conceitos e relações;
- Pragmática: refere-se à camada de ferramentas, a forma de expressar e apresentar os conceitos e relações que foram definidos nas camadas anteriores.

Dependendo da aplicabilidade, uma ontologia pode ser descrita em distintos níveis de abstração. Conforme Novello (2002), uma ontologia pode ser classificada em três níveis diferentes:

- Ontologia de nível de topo: descrição de conceitos gerais e independentes, sem se restringir a um domínio específico;
- Ontologia de domínio e de tarefa: respectivamente, é a descrição dos conceitos referentes a um domínio, e de uma tarefa genérica ou específica dos conceitos definidos na ontologia de nível de topo;

- Ontologia de aplicação: descrição dos conceitos dependendo de uma ontologia de domínio e de uma ontologia de tarefa particulares, que são muitas vezes especializações das ontologias de domínio e de tarefa relacionadas.

Uma ontologia provê uma estrutura básica com a qual se pode construir uma base de conhecimento. A ontologia fornece um conjunto de conceitos e termos para descrever um determinado domínio, enquanto a base de conhecimento usa esses termos para descrever uma determinada realidade. Caso essa realidade seja modificada a base de conhecimento será modificada, porém a ontologia permanecerá inalterada, desde que o domínio se mantenha inalterado.

A ontologia formaliza o conhecimento através da utilização de cinco componentes (GUARINO, 1998):

- Conceito é a representação de algo, ou de qualquer coisa, acerca do domínio em questão. Sendo que as propriedades de um conceito são denominadas de atributos. Por exemplo, um conceito pode ser uma pessoa, tendo como atributo a idade;
- Relacionamentos são as relações entre os conceitos do domínio. Nessas relações, podem-se definir a cardinalidade. Por exemplo, pode-se ter um relacionamento entre pessoa e universidade, através da relação “estuda em” e a cardinalidade “uma ou mais”;
- Funções são relações especiais onde o  $n$ -ésimo elemento da relação é único para os  $n-1$  elementos precedentes. As funções são definidas formalmente conforme está apresentada na seguinte equação:

$$F: C_1 \times C_2 \times C_3 \times \dots \times C_{n-1} \rightarrow C_n$$

- Axiomas modelam sentenças que são sempre verdadeiras. Por exemplo, define-se que a idade de uma pessoa corresponde a data atual subtraindo a data de seu nascimento;
- Instâncias representam os elementos de uma ontologia, ou seja, são as representações dos conceitos e relações que foram estabelecidas pela ontologia.

Para o desenvolvimento de uma ontologia, definem-se os seguintes princípios básicos (GUARINO, 1998):

- Clareza e objetividade: os conceitos devem ser definidos de forma clara e acompanhados de documentação em linguagem natural;

- Padronização dos nomes;
- Uma definição deve exprimir as condições necessárias e suficientes;
- Coerência, de modo que se permita originar inferências que sejam consistentes com as definições declaradas;
- Permissão da declaração de novos termos sem que seja necessária a revisão dos termos já existentes;
- Possibilidade da definição de tão poucas suposições quanto possíveis sobre o mundo a ser modelado, permitindo que as especializações e instanciações da ontologia sejam definidas com liberdade;
- As classes definidas devem ser independentes, sem sobreposição de conceitos;
- Modularidade;
- Representação dos conceitos similares seguindo as mesmas primitivas, de modo que sejam agrupados numa mesma ordem semântica.

A *Ontology Web Language* (OWL) é uma linguagem baseada na linguagem *eXtensible Markup Language* (XML) utilizada para representar ontologias. Com OWL, além de ser possível expressar a estrutura de conceitos e relacionamentos, é possível descrever características especiais sobre conceitos e relacionamentos através de axiomas lógicos.

As aplicações de ontologias são também de propósitos variados. De uma maneira geral, elas são importantes para a comunicação, seja entre pessoas ou entre sistemas. Na comunicação entre seres humanos, as ontologias podem fazer o papel de glossário de termos técnicos, e, na comunicação entre seres humanos e sistemas, as ontologias podem auxiliar na busca de informações. Na comunicação entre sistemas, o papel da ontologia é definição e a conceitualização comum consideradas na troca de mensagens.

Em conformidade com o que foi exposto anteriormente, sendo que a área da medicina, biomedicina e engenharia biomédica necessitam de uma constante contextualização e definição de termos técnicos, a modelagem ontológica pode contribuir para o ensino e armazenamento do conhecimento técnico. A medicina possui há muito tempo, a tradição de modular e estruturar o seu conhecimento, manter a classificação de doenças, executar procedimentos médicos em uma ampla variedade de terminologias médicas que são restritas

tipicamente em termos (abrangentes, relacionados ou sinônimos) (HAHN e SCHULTZ, 2004).

A OMS e alguns consultores independentes propuseram como estratégia a criação da Rede Global de Informações para Saúde Pública através do consórcio feito do *Knowledge Management for Public Health* (KM4PH). A KM4PH, conduzida pela equipe de gerência do conhecimento da OMS, tem como parceiros as associações, as instituições e as escolas em todo mundo. A criação de uma rede de conhecimento para a Saúde Pública pode estimular o fornecimento de soluções (*e.g.*, campanhas, estratégias aplicadas) sobre os desafios enfrentados e assim possibilitar o aumento do uso de Tecnologia de Informação e Comunicação (TIC) para o desenvolvimento de força tarefa na Saúde Pública, transformando o conhecimento e a política em prática.

Neste sentido, para melhorar e possibilitar o acesso às informações de cunho médico, a Organização Mundial de Saúde (OMS) criou no ano de 2005 a *eHealth*. A *eHealth* foi criada no sentido de possibilitar o uso de TIC para a Saúde, com os objetivos de auxiliar a disseminação do conhecimento na saúde através de instituições governamentais nacionais e internacionais; aumentar a consciência e o compromisso de instituições governamentais públicas e particulares para investirem na Saúde Pública; publicar um relatório e um guia anual, com os melhores tópicos de pesquisas na Saúde Pública, que possam servir aos governos e instituições como referência de pesquisas; construir (criar, disseminar, instituir) a cultura de pesquisa e publicação na saúde nos países de forma a demonstrar os conhecimentos e habilidades desenvolvidos e adquiridos.

Nas iniciativas apontadas anteriormente pela *eHealth*, há a necessidade do uso da ontologia para o compartilhamento da perícia médica ao nível de país e assim possibilitar buscas regionais ou nacionais na solução de problemas de caráter médico.

A OMS, ainda, relata a necessidade de ontologias: (a) na transformação do Cadastro Internacional de Doenças (CID), para um novo modelo, que evidencie a síntese do melhor conhecimento disponível, em campos diferentes, no cuidado da saúde para codificar diagnósticos, com aplicações práticas da *eHealth*, mas também deve transformar-se em uma terceira geração de classificação de doenças (CID-11). Esta visão pode auxiliar a ligação dos termos usados nos registros eletrônicos da saúde às categorias da classificação usando esquemas apropriados na representação do conhecimento; (b) Na necessidade de captura das

intervenções médicas, na classificação internacional de intervenções médicas e nos sistemas de saúde, de forma sistemática na classificação de esquemas que não tenham duplicidade ao nível de país.

### ***2.3.5 Sistemas tutores inteligentes e ontologias***

A ontologia na saúde já está presente em diversos trabalhos científicos, dentre eles a *Foundation Model of Anatomy* (FMA). O objetivo desse projeto é a disponibilização de uma base de conhecimento *Open Source* sobre bioinformática, a qual é mantida pela Universidade de Washington. O objetivo principal é modelar ontologicamente as estruturas anatômicas humanas através da representação de classes e relações dos modelos simbólicos e a interpretação dos relacionamentos por uma máquina de inferência (DAMERON e MUSEN, 2005).

O FMA não pode ser igualado as tradicionais fontes de informação, tais como: atlas, livros textos, dicionários, enciclopédias e listas de termos. Ambos os atlas e livros textos têm a orientação voltada à enfermeiras, aprendizes de medicina, cirurgiões e radiologistas, porém com pontos de vista diferentes entre os autores. Entretanto, a arquitetura FMA foi projetado para fornecer um conjunto de informações de um grupo de especialistas. Ele possibilitou a associação de índices anatômicos devidamente catalogados por especialistas em função de um conjunto de informações cuidadosamente estruturadas pedagogicamente, como pode ser observado na Figura 7.

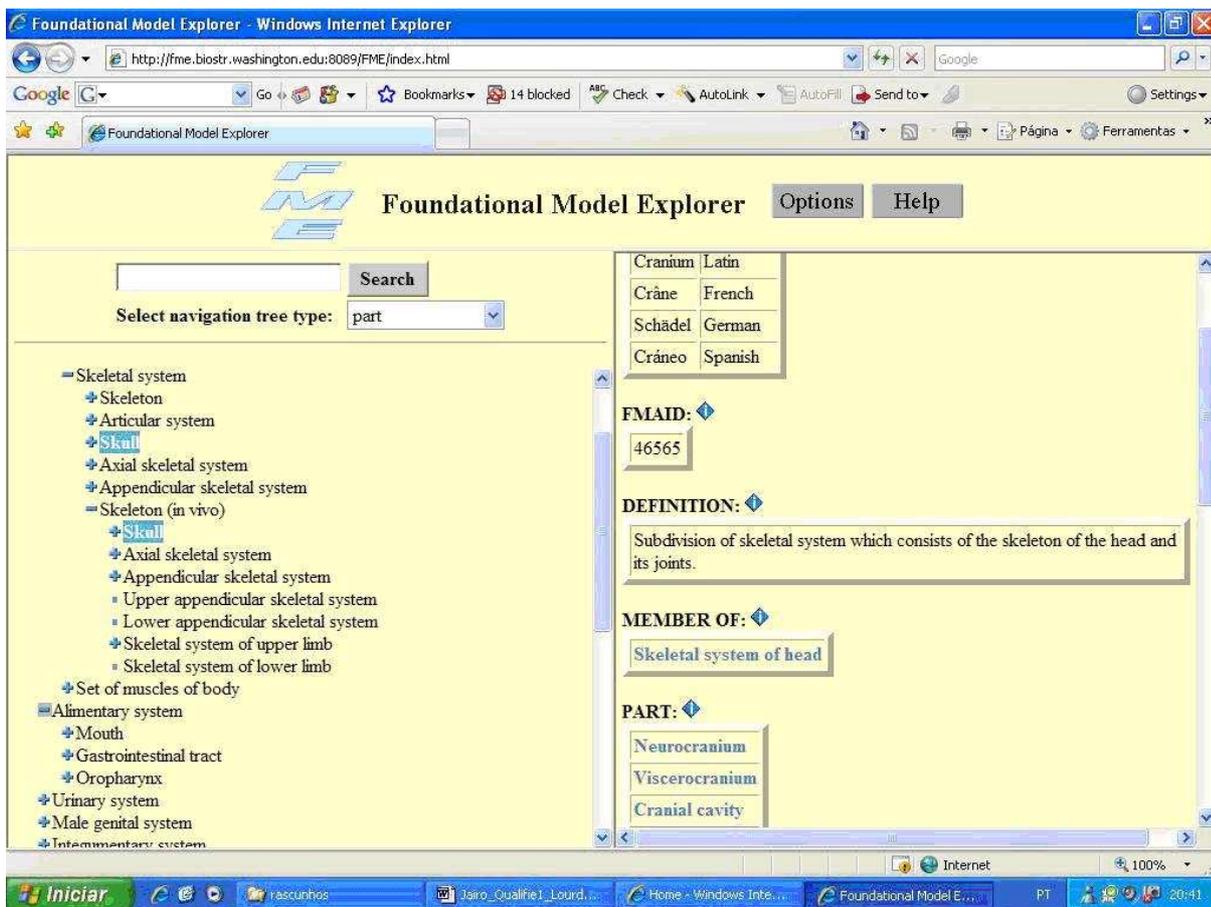


Figura 7 - Interface de acesso ao FMA

Fonte: DAMERON e MUSEN, 2005

### 2.3.6 Validação de sistemas tutores inteligentes

As investigações iniciais na área de Interação Homem/Computador (IHC) indicam um grande hiato quando se trata de modelos de avaliação de software educativo. O que se encontra são propostas consistentes de avaliação de usabilidade, centradas nos aspectos ergonômicos na relação de interatividade homem/computador (BERTOLETTI, 2001).

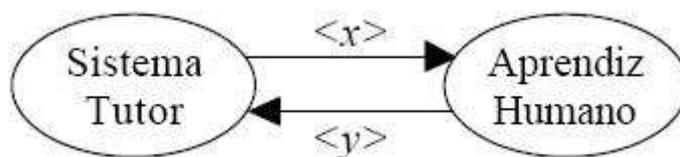
Entende-se que, tanto na área da ergonomia como da pedagogia, uma coisa é aprender o sistema, ou operar o sistema (usabilidade), outra é o aprender mediatizado pelo sistema (aprendizagem). Pressupõe-se que estas duas dimensões na relação IHC estão intimamente ligadas, sendo possível desenvolver um sistema de avaliação contemplando estas propriedades fundamentais para conferir qualidade pedagógica a um software educacional (BERTOLETTI, 2001). Nesse sentido, *softwares* que propõem aprendizagem sobre um determinado conteúdo, entre eles os STI, devem procurar atender esse conjunto de fatores:

- **Cognitivos:** Conhecimento, compreensão, aplicação, análise, síntese e avaliação.

- **Afetivos:** Receptividade, reação, valorização, organização, caracterização em função de um valor ou de um conjunto de valores.
- **Psicomotores:** percepção, predisposição, resposta orientada, resposta mecânica, resposta complexa evidente. Para este estudo, considerando as propriedades, os objetivos e o conteúdo das tarefas do software em relação ao público alvo, nomeou-se o domínio cognitivo do sujeito para ser analisado no processo de IHC e deste os seguintes fatores, segundo Bloom (1983).
- **Conhecimento** - nesta concepção, o termo conhecimento envolve a evocação de conhecimentos específicos e universais, de métodos e processos, ou de um padrão, estrutura ou composição. Para efeito de mensuração, a situação de evocar envolve pouco mais do que trazer à mente o material apropriado. Ainda que alguma alteração do material possa ser requerida, esta é uma parte relativamente menos importante da tarefa.
- **Compreensão** - nesta questão, o conhecimento refere-se a um tipo de entendimento ou apreensão tal, que o indivíduo conhece o que está sendo comunicado e pode fazer uso do material ou idéia que está sendo comunicada, sem necessariamente relacioná-la a outro material ou perceber suas implicações mais completas.

## 2.4 MATHEMA e E-MATHEMA

A arquitetura do STI a ser desenvolvida, sustenta-se na arquitetura MATHEMA (COSTA, 1997). Para trabalhar a adaptação do STI ao aprendiz, é necessário identificar certos elementos chaves que trabalham o relacionamento das duas partes. Basicamente, o processo de interação ocorre pela troca de mensagens entre o STI ( $x$ ) e o aprendiz ( $y$ ). A Figura 8 ilustra essa interação.



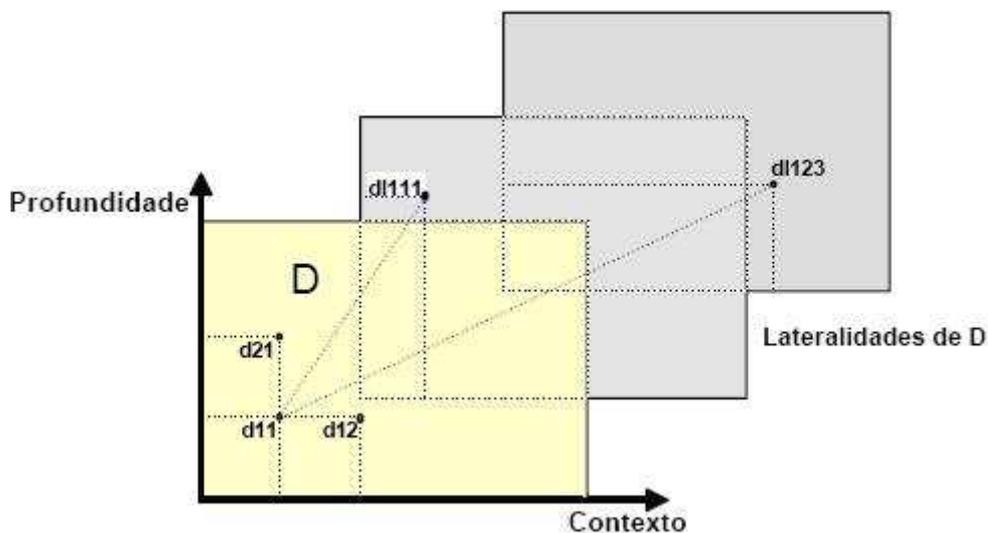
**Figura 8** - Interação Tutor-Aprendiz

**Fonte:** COSTA, 1997

No esquema descrito, o STI formula e envia uma mensagem ao aprendiz, que reage e lhe devolve uma mensagem. Para que esse processo de interação tenha qualidade é necessário prover boas condições de suporte ao processo de aprendizagem do aprendiz. Para alcançar esse objetivo é necessário ter as seguintes características agregadas ao sistema:

- Conhecimento sobre o domínio: é necessário ter riqueza e estrutura apropriada para prover boas condições de aprendizagem, sendo importante disponibilizar diversas visões sobre o conhecimento a ser ensinado;
- Conhecimento pedagógico: nas teorias contemporâneas de ensino, o aprendiz é considerado um agente ativo no processo de aprendizagem, o que traz uma grande exigência de qualidade e quantidade do conhecimento a ser ensinado. Por não existir uma maneira única de realizar-se o ensino de um conteúdo, é necessário que seja possível adotar vários estilos de ensino no processo de aprendizagem;
- Conhecimento sobre o aprendiz: envolve a exploração do modelo do aprendiz, que é onde se identifica o conhecimento do mesmo em relação ao domínio apresentado pelo sistema. Através do acompanhamento do processo de aprendizagem, o STI provê assistência ao aprendiz;
- Capacidade de interação: é interessante e produtivo ter um modelo de interação cooperativa que permita agregar as três qualidades citadas anteriormente.

Para a modelagem do conhecimento sobre um domínio no MATHEMA, particiona-se o domínio em subdomínios, visando torná-lo granular sob o aspecto de especialidades, que estarão distribuídas em três dimensões de conhecimento, conforme descrito na Figura 9.



**Figura 9** - Visão Multidimensional do Conhecimento do Domínio

Fonte: COSTA, 1997

A dimensão referente ao contexto, apresenta os diversos pontos de vista referentes a um subdomínio de conhecimento (várias interpretações que podem ser dadas a um mesmo objeto de conhecimento). A dimensão Profundidade é referente a um contexto em particular,

representando o nível de detalhamento abordado para um determinado contexto. A dimensão profundidade trata dos conhecimentos que dão suporte a subdomínios dentro do domínio, proveniente de uma visão existente entre um contexto e uma profundidade. Assim, temos (COSTA, 1997):

**Definição 1:** Considerando  $D$  um domínio de conhecimento no qual deseja-se apresentar uma visão multidimensional:

(i) A um domínio  $D$ , temos um conjunto de contextos  $C$ .

$$D \rightarrow \{C_1, C_2, \dots, C_n\}$$

(ii) Em seguida, tem-se um conjunto de diferentes níveis de profundidade  $P_{ij}$  associada a cada contexto. E sabendo que  $j = 1$  representa a  $j$ -ésima profundidade associada ao  $i$ -ésimo contexto:

$$C_i \rightarrow \{P_{i1}, P_{i2}, \dots, P_{im}\}$$

(iii) E, finalmente, para cada par  $\langle C_i, P_{ij} \rangle$ , associa-se a um conjunto de lateralidades distintas  $L_{ijk}$ , onde  $k = 1$  representa a  $k$ -ésima lateralidade desse par, sabendo que esse conjunto de lateralidades pode ser vazio:

$$\langle C_i, P_{ij} \rangle \rightarrow \{L_{ij1}, L_{ij2}, \dots, L_{ijt}\}$$

**Definição 2:** Um domínio  $D$  ligado a uma partição baseada entre uma visão de contexto e profundidade é um conjunto definido pela união de subdomínios, que representam uma visão pontual de  $D$ , e é denotado por  $d_{ij}$ . Logo:

$$D = \bigcup_{j=1}^m d_{ij}, i = 1, \dots, n$$

**Definição 3:** Uma visão de conhecimento lateral  $D_L$ , é um conjunto denotado por: para cada visão  $L_{ijk}$ , é definido um subconjunto externo à  $D$ , denotado por  $d_{ijk}$ , responsável por um conhecimento lateral em relação à  $D$ , sendo que  $d_{ijk}$  não pertence à  $D$ :

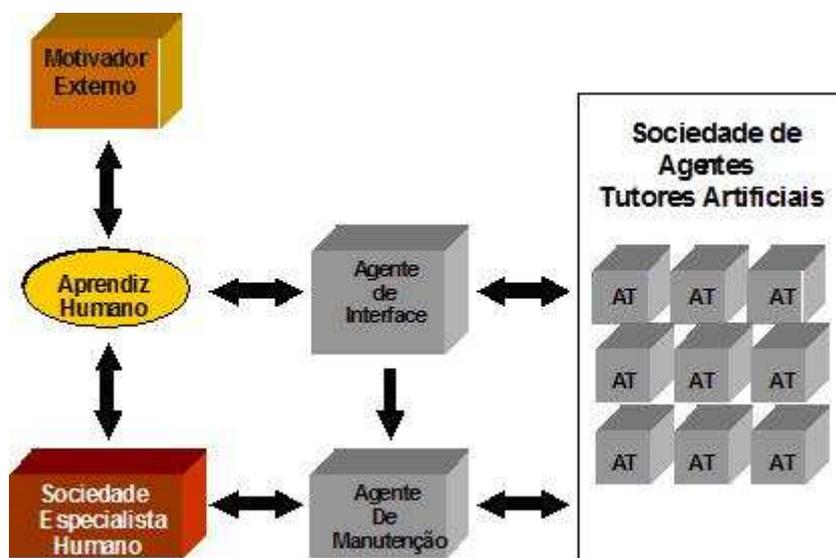
$$DL = \bigcup_{k=1}^t d_{ijk}, i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, m$$

A arquitetura do MATHEMA está baseada no princípio da interação entre entidades humanas e inteligentes que estão dispostas a agir cooperativamente. Assim a arquitetura do MATHEMA é definida por uma 6-upla, como segue:  $Arq\_Mat = \langle AH, SATA, SEH, AI, AM,$

ME>, onde (COSTA, 1997):

- (i) AH significa Aprendiz Humano, que a entidade humana interessada em aprender sobre um determinado domínio;
- (ii) SATA, Sociedade de Agentes Tutores Artificiais, sendo uma coleção de agentes que podem cooperar entre si com o objetivo de auxiliar o aprendizado do aprendiz, baseando-se em resolução de problemas, sendo que cada um desses agentes é especializado em um subdomínio;
- (iii) SEH é uma Sociedade de Especialistas Humanos, que funcionam na manutenção do sistema, como fonte de conhecimento, que aumentam a capacidade cognitiva da SATA;
- (iv) AI denota Agente de Interface, que faz realmente a interface entre aprendiz e a SATA;
- (v) AM significa Agente de Manutenção, que é responsável pela interface entre SEH e SATA;
- (vi) ME é Motivador Externo representando entidades humanas externas que podem motivar o aprendiz a aprender no ambiente MATHEMA.

As setas mostradas na Figura 10 representam a visão interativa entre cada componente da arquitetura MATHEMA.



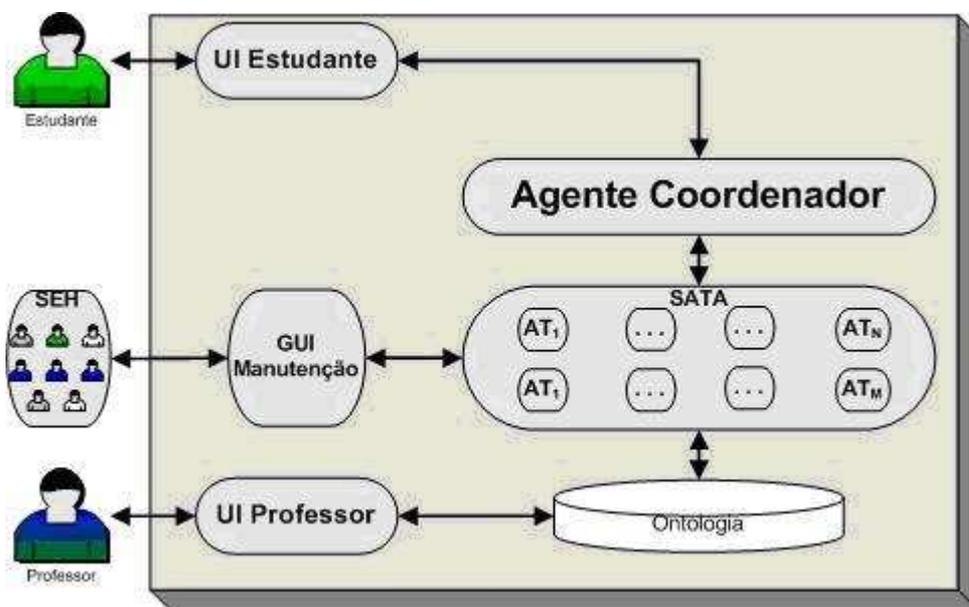
**Figura 10** - Arquitetura do MATHEMA

Fonte: COSTA, 1997

As interações dinâmicas que envolvem o Aprendiz e a SATA iniciam-se quando se mostra necessário a resolução de algum dado problema. A partir daí, a idéia é que se

desenvolvam diversas funções pedagógicas como parte do processo de interação adaptativa do tutor com o Aprendiz. Nessa interação, pode ser possível que o agente tutor escolhido não consiga realizar todas as tarefas necessárias ao ensino do aprendiz, podendo, então, pedir auxílio a outros agentes na SATA, fazendo a cooperação entre eles. Caso até isso não seja o suficiente, o Agente Tutor irá pedir auxílio para o meio exterior, ou seja, a SEH.

Dentro da arquitetura proposta por Costa (1997) a sociedade de agentes teria acesso o domínio do conhecimento, porém não especificava como esse conhecimento seria modelado. Dentro desse mesmo princípio, Bittencourt (2006) propõe que a SATA tenha acesso a uma formalização do conhecimento sobre a forma de ontologia (Figura 11).



**Figura 11** - Arquitetura do E-MATHEMA

Fonte: BITTENCOURT, 2006

## 2.5 Realidade Virtual

Ackerman (1996) afirma, em seu livro *A Natural History of the Senses*, que 70% dos receptores do sentido humano encontram-se nos olhos, tornando-os os grandes “monopolistas dos sentidos” (JACOBSON, 1994). A maioria das informações recebidas pelo ser humano tem a forma de imagens visuais, as quais são interpretadas por um computador extremamente eficiente, o cérebro. Os computadores digitais, por sua vez, interpretam informações fornecidas por algum dispositivo de entrada de dados, como um teclado, por exemplo. Atualmente, a RV permite que computadores e mente humana atuem de forma cada vez mais integrada (MACHADO, 1995).

O termo RV é creditado a Jaron Lanier, fundador da *VPL Research Inc.*, que o cunhou, no início dos anos 80, para diferenciar as simulações tradicionais feitas por computador de simulações envolvendo múltiplos usuários em um ambiente compartilhado (ARAÚJO, 1996). Pesquisas como a de Myron Krueger (KRUEGER e GIONFRIDDO, 1985), em meados da década de 70, já utilizavam o termo RV, e William Gibson utilizou o termo *cyberspace* em 1984, no seu romance de ficção científica *Neuromancer* (GIBSON, 1994). Espaço cibernético (*cyberspace*) foi o termo utilizado para designar uma representação gráfica de dados abstraídos dos bancos de dados de todos os computadores do sistema humano. Gibson descreveu uma rede de computadores universal contendo todo tipo de informações, na qual seria possível “entrar” e explorar os dados de forma multisensorial, e onde pessoas com implantes em seus corpos podiam transmitir informações diretamente para o computador.

O termo RV é bastante abrangente e acadêmico. Desenvolvedores de *software* e pesquisadores tendem a defini-lo com base em suas próprias experiências, gerando diversas definições na literatura. Pode-se dizer, de uma maneira simplificada, que RV é a forma mais avançada de interface do usuário com o computador até agora disponível (HANCOCK, 1995). Trata-se de uma interface que simula um ambiente real e permite aos participantes interagirem com o mesmo (LATTA, 1994), permitindo às pessoas visualizarem, manipularem e interagirem com representações extremamente complexas (AUKSTAKALNIS, 1992). Ela é um paradigma pelo qual se usa um computador para interagir com algo que não é real, mas que pode ser considerado real enquanto está sendo usado (HAND, 1994).

O termo Mundo Virtual é usado para denotar o mundo digital criado a partir de técnicas de Computação Gráfica. Uma vez que é possível interagir e explorar esse mundo por meio de dispositivos de entrada e de saída, ele se transforma em um ambiente virtual, ou ambiente de RV (VINCE, 1995). A RV é, freqüentemente, confundida com animação, CAD ou multimídia. Em comparação com essas tecnologias, a RV é (LESTON, 1996):

- Orientada ao usuário, o observador da cena virtual;
- Mais imersiva, por oferecer uma forte sensação de presença dentro do mundo virtual;
- Mais interativa, pois o usuário pode modificar e influenciar o comportamento dos objetos;
- Mais intuitiva, pois existe pouca ou nenhuma dificuldade em manipular as interfaces

computacionais entre o usuário e a máquina.

### 2.5.1 Modelagem de objetos tridimensionais

Toda a computação gráfica é embasada em *pixels* que são pontos que fazem com que a imagem seja sintetizada visualmente em um monitor. Seja em 3D ou 2D, o profissional em computação gráfica trabalha direta ou indiretamente com *pixels* e suas compressões. Isso porque todo o nosso formato de vídeo, tanto monitores, televisores, celulares, cinema ou qualquer tipo de emissor de imagens atualmente são interligados por uma série de algoritmos e ferramentas padrões de construção e edição de imagens. Atualmente, as ferramentas para a construção de imagens (os *softwares*) lidam praticamente sozinhos com toda a parte algorítmica do *hardware*, baseando-se em diferentes modos de captação e geração de objetos 3D.

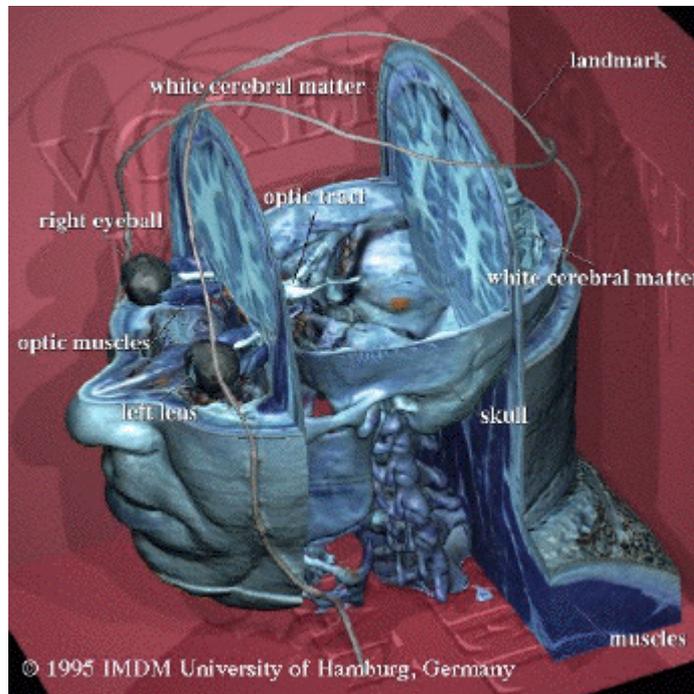
As imagens processadas correspondem a fatias (*slices*) de uma amostra. As fatias de uma mesma imagem são ordenadas e agrupadas em uma pilha (*stack*). Técnicas de renderização de volumes são utilizadas para processar imagens bidimensionais que correspondem a fatias da amostra analisada e gerar a imagem tridimensional correspondente. A visualização tridimensional tem a vantagem de permitir a visualização de qualquer ponto de vista.

A representação de objetos tridimensionais por polígonos tem sido tradicionalmente utilizada em modelagem 3D em tempo real, porque minimizam os requisitos de processamento e memória. A representação por polígonos não é adequada para dados científicos, devido a regularidade de suas formas, que não representam adequadamente certas imperfeições e variações de objetos reais.

As técnicas de renderização de volumes, baseadas em *voxels*, têm apresentado melhores resultados para dados científicos, principalmente quando os objetos representados têm características de fluídos, como ocorre em imagens geológicas e imagens médicas. O *voxel* é o menor elemento de volume representável, e corresponde a uma analogia 3D do *pixel*. O volume a ser representado é dividido em pequenos cubos discretos com um valor associado, normalmente representando uma cor. Os *voxels* permitem uma melhor representação de imagens nesses casos, mas tem a desvantagem de exigir maior capacidade de processamento e memória, tornando o modelo mais complexo e as superfícies obtidas podem

ter falhas (Figura 12).

Existem vários processos para renderizar imagens representadas por *voxels*, entre elas: Traçado de raios (*Ray casting*), Renderização em espaço binário particionado (*Rendering voxels in binary partitioned space*) e Cubos (*Marching cubes*).



**Figura 12** - Objeto 3D definida por *Voxe*

**Fonte:** <http://www.sensoray.com/>

O algoritmo do traçado de raios calcula a intensidade de luz que deve incidir em pontos ao longo de um raio que passa pelo olho do observador e atravessa o objeto. A intensidade de luz depende da densidade do material. O cálculo deve levar em conta a posição da fonte de luz e reflexões da luz. O algoritmo de renderização em espaço binário particionado permite particionar o volume para processamento em paralelo, permitindo o aumento do desempenho e a renderização de grandes volumes com alta definição. O algoritmo Cubos Marchantes processa os vértices de cada *voxel* (cubo) em relação a seus vizinhos, substituindo-o pelo conjunto de polígonos apropriado, que melhor aproxima os dados fornecidos.

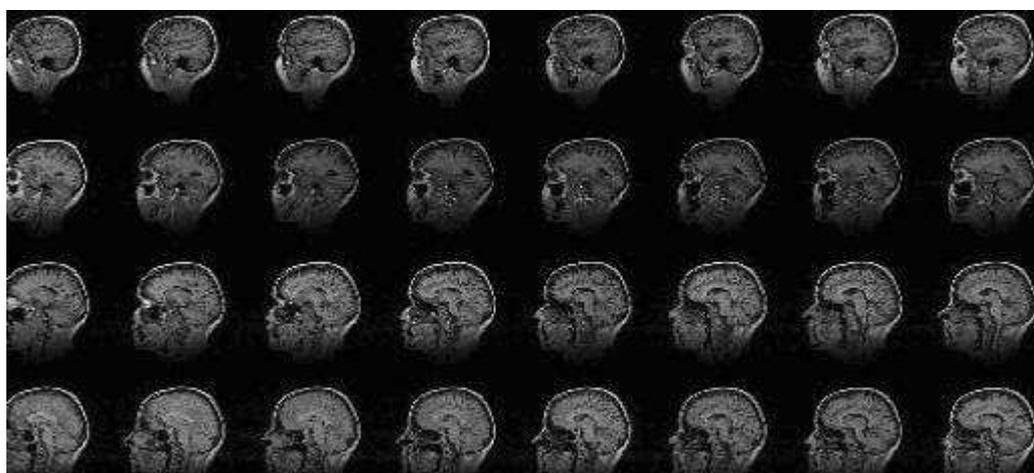
Dentro da área médica, as melhores formas de obtenção de imagens são: microscopia por fluorescência, ressonância magnética nuclear e tomografia computadorizada. A microscopia por fluorescência utiliza anticorpos purificados combinados com corantes fluorescentes, associando uma cor diferente a cada tipo de anticorpo. Os anticorpos têm a

propriedade de se ligar a certos tipos de proteínas de células ou tecidos, marcando as diferentes regiões da amostra conforme o tipo e a concentração de proteínas. Ao iluminar a amostra com luz de comprimento de onda apropriado, os corantes emitem luz de diferentes cores permitindo a análise de sua estrutura.

A imagem pode ser obtida em vários planos, variando o foco do microscópio. A imagem no plano de foco aparece nítida, enquanto as imagens fora do plano aparecem borradas e com menor intensidade. Utilizando algoritmos de deconvolução, é possível separar da imagem apenas a parte nítida, que corresponde ao plano em foco.

A tomografia computadorizada é uma técnica utilizada para obter a seqüência de imagens (escaneadas). Nessa técnica, um equipamento de raio X composto de emissor e detectores efetua várias varreduras que medem a radiação ao longo de um plano da amostra analisada, em vários ângulos. Os dados são processados por um computador que reconstrói a imagem dos planos da amostra. A vantagem das imagens de tomografia computadorizada sobre a imagens de raio X convencional é que elas contêm a informação somente de um plano. Já as imagens de raio X convencional contêm informação de todos os planos, e o resultado é um acúmulo de sombras que dependem da densidade e da capacidades de absorção de raios X dos tecidos, ossos, órgãos, etc.

A técnica de ressonância magnética nuclear desposta na Figura 13, *Magnetic Resonance Imaging* (MRI), mapeia a magnetização gerada pelos núcleos dos átomos de células, na presença de um campo magnético externo, que alinham o momento angular do núcleo (*spin*). As imagens obtidas com MRI têm mais resolução do que as obtidas com tomografia por raio X com a vantagem de não precisar emitir radiações ionizantes.



**Figura 13** – Exemplo de imagem obtida por ressonância magnética nuclear

**Fonte:** <http://www.portalmedico.org.br/>

### **2.5.2 Framework de manipulação tridimensional**

O surgimento de bibliotecas que simplificam a construção de ambientes 3D é uma realidade, devido a simplificação dos hardware de processamento gráfico e o interesse no desenvolvimento para tais plataformas. Dentro desse requisito, o CHAI3D (CONTI, 2006) destaca-se como um excelente *framework* de caráter *Open Source* para desenvolvimento de ambientes virtuais destinado a *desktops* e *Web*. Pode-se destacar algumas características da biblioteca CHAI3D:

- encapsular as funcionalidades da API de processamento gráfico OPENGL;
- disponibilizar interfaces de interação com dispositivos hápticos;
- disponibilizar funcionalidades de importação e exportação de objetos nos formatos mais difundidos do mercado 3DS e RAW;
- disponibilizar mecanismo de navegação como translação e rotação de objetos 3D;
- disponibilizar mecanismo de mapeamento de texturas;
- disponibilizar uma interface de contato virtual;
- disponibilizar mecanismo de visualização como câmeras, luzes, transparência;
- disponibilizar algoritmos de detecção de colisão e controle de gravidade;
- disponibilizar possibilidade de uso da tecnologia ActiveX para simulação em páginas *Web*.

### **2.5.3 Dispositivos de entrada e saída para realidade virtual**

Uma das conseqüências do advento da RV foi a necessidade de redefinir o paradigma de interface homem-computador. O sistema tradicional *mouse*-teclado-monitor foi substituído por dispositivos que permitiram maior imersão do usuário no ambiente virtual e o manuseio de todas as potencialidades dessa nova tecnologia.

O modo como os participantes interagem com o sistema de RV influencia enormemente suas experiências no ambiente virtual, facilitando seu uso, aumentando a

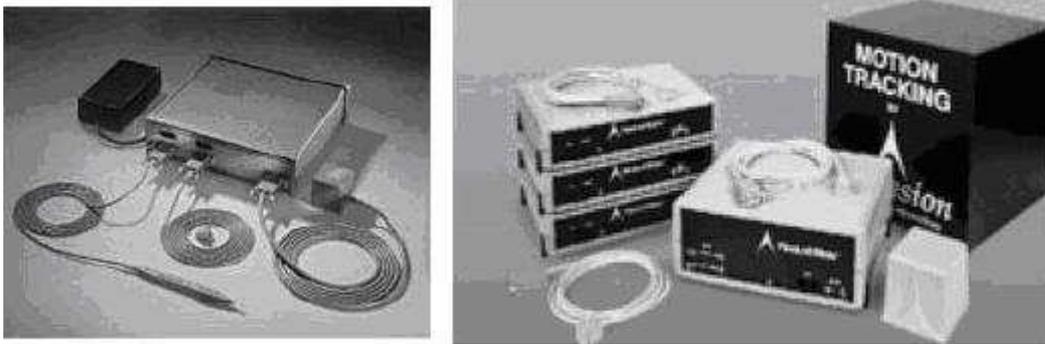
sensação de imersão e ampliando a variedade de ações que se pode tomar dentro do ambiente virtual. Um importante dispositivo de interação é o rastreador de posição que pode ser utilizado para acompanhar a posição do corpo e os movimentos do usuário, assim como a posição de outros objetos sendo por ele utilizados.

Existe uma variedade de dispositivos de rastreamento, cada um utilizando uma tecnologia diferente, entre eles, os eletromagnéticos, mecânicos, acústicos, inerciais e ópticos. Ao analisar as tecnologias utilizadas pelos rastreadores, três fatores devem ser levados em consideração: precisão e velocidade de resposta do sensor; interferência do meio; restrições (fios, conexões mecânicas, etc.). Alguns desses dispositivos serão abordados nas seções seguintes.

### **Eletromagnéticos**

Algumas características com relação aos dispositivos eletromagnéticos são elencadas a seguir (CONTI, 2006):

- **Princípio de funcionamento:** os rastreadores eletromagnéticos utilizam campos magnéticos para medir posição e orientação. O sistema é composto por transmissor e receptor em forma de bobina. Um sensor unidimensional para estimar a posição no eixo Z, por exemplo, é composto por uma única bobina transmissora orientada na direção Z. Quando uma corrente é aplicada à bobina, um campo magnético é gerado. No receptor, o campo induz uma voltagem máxima proporcional à intensidade do campo magnético medido em uma bobina orientada na mesma direção do campo. A voltagem induzida fornece a distância do transmissor ao receptor, assim como a diferença de alinhamento entre os eixos.
- **Precisão/Velocidade:** esses sistemas são bastante precisos, cerca de 1 a 2 mm para posição e 0,1° para orientação. A velocidade de captura de dados é de 100 a 200 medidas/segundo.
- **Interferência do meio:** a presença de metais e o próprio tubo de raios catódicos do monitor podem causar interferência eletromagnética.
- **Restrições:** pequeno espaço de utilização devido ao alcance do campo magnético gerado. O receptor deve estar cerca de 1-3 metros do transmissor, não havendo necessidade de linha de visada desobstruída.



**Figura 14** - Dispositivos eletromagnéticos

Fonte: CONTI, 2006

### Mecânicos

Algumas características com relação aos dispositivos mecânicos são elencadas a seguir (CONTI, 2006):

- Princípio de funcionamento: os rastreadores mecânicos medem ângulos e distância entre juntas. Dada uma posição conhecida, todas as outras podem ser determinadas pela relação entre as juntas. Os rastreadores podem estar presos ao chão ou anexados ao corpo do usuário, usualmente na forma de um exoesqueleto. As rotações e as distâncias podem ser medidas por engrenagens, potenciômetros ou sensores de dobra.
- Precisão/Velocidade: por serem mecânicos, possuem alta precisão ( $0,1^\circ$  de rotação). A latência média é de 200 *ms*.
- Interferência do meio: não sofrem interferência do meio.
- Restrições: a própria arquitetura do rastreador pode restringir o movimento do usuário, caso o mesmo seja preso ao chão ou possua muitas juntas.



**Figura 15** -Interfaces de contato mecânicas

Fonte: CONTI, 2006

**Acústicos**

Algumas características com relação aos dispositivos acústicos são elencadas a seguir (CONTI, 2006):

- Princípio de funcionamento: rastreadores acústicos utilizam, tipicamente, ondas sonoras ultra-sônicas para medir distância. Os métodos mais usados são o cálculo do tempo de vôo e a coerência de fase. Em ambos, o objetivo é converter tempo em distância. Um único par transmissor/receptor fornece a distância do objeto em relação a um ponto fixo. O resultado é uma esfera em cuja superfície o objeto está localizado. Como visto na Figura 19, a adição de um segundo receptor restringe a região a um círculo e um terceiro receptor restringe a dois pontos, sendo um deles geralmente descartado. Portanto, para estimar a posição são necessários um transmissor e três receptores ou um receptor e três transmissores. Para estimar posição e orientação, são necessários três transmissores e três receptores.
- Precisão/Velocidade: existe um atraso inerente à espera do sinal. Esse atraso é intensificado devido à baixa velocidade de propagação do som.
- Interferência do meio: as propriedades do som limitam esse método. O desempenho é degradado na presença de um ambiente ruidoso ou devido a geração de ecos. O som deve percorrer um caminho sem obstrução entre os alto-falantes e os microfones.
- Restrições: a configuração do sistema não é cara, pois o equipamento necessário é composto de microfones, alto-falantes e um computador. Devido às restrições de interferência, a distância média entre receptor e transmissor são alguns metros, contudo, sistemas mais precisos podem cobrir áreas de até 40x30m.



## Figura 16 - Dispositivos acústicos

Fonte: CONTI, 2006

### Inerciais

Algumas características com relação aos dispositivos inerciais são elencadas a seguir (CONTI, 2006):

- Princípio de funcionamento: utilizam magnetômetros passivos, acelerômetros e girômetros. Os magnetômetros passivos medem o campo magnético do ambiente (geralmente da Terra) e fornecem medidas angulares. Os girômetros fornecem medidas angulares mais precisas e os acelerômetros fornecem medidas lineares. Todos são baseados na segunda lei de movimento de Newton, sendo assim, o sistema deve integrar a leitura para obter a velocidade e a posição.
- Precisão/Velocidade: Devido à etapa de integração, o erro obtido a cada passo tende a aumentar. A utilização de filtros de correção e outros sensores ajudam a diminuir esse erro.
- Interferência do meio: Não existe interferência, pois o sistema é “autocontido”, não havendo necessidade de um ponto externo para obtenção de dados;
- Restrições: Não existe limitação física para o espaço de trabalho, sendo o mesmo limitado somente pela conexão entre o dispositivo e o computador.

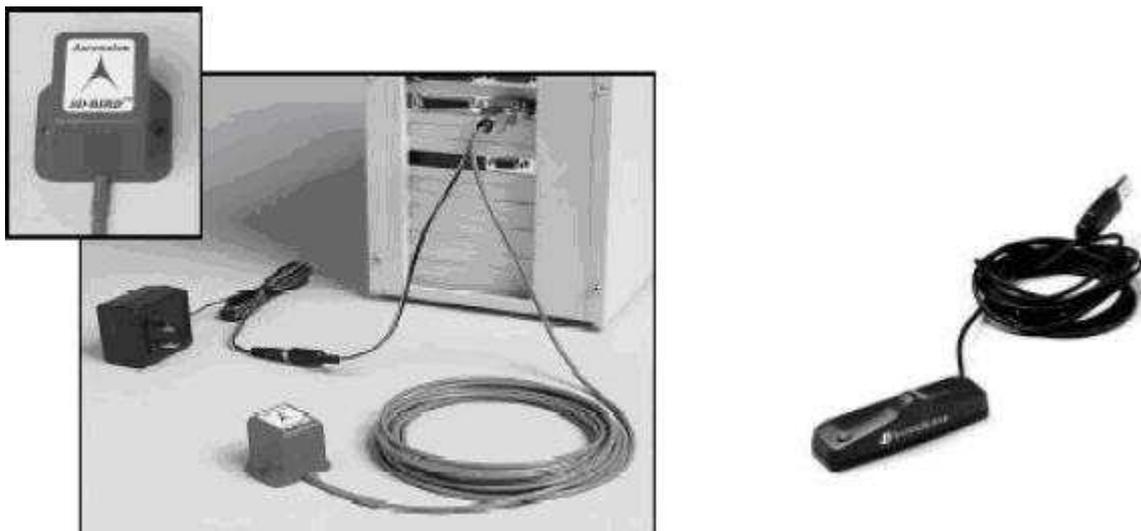


Figura 17 - Dispositivos Inerciais

Fonte: CONTI, 2006

## Ópticos

Algumas características com relação aos dispositivos ópticos são elencadas a seguir (CONTI, 2006):

- **Princípio de funcionamento:** baseado na análise da projeção bidimensional de uma imagem ou na determinação dos ângulos de feixes da varredura para calcular a posição e orientação de um dado objeto. Os sensores ópticos são geralmente câmeras (por exemplo, *Charge-Coupled Device* (CCD), um detector 4Q ou um diodo de efeito lateral. Um CCD é um conjunto de detectores recebendo imagens no plano focal da câmera. Um detector 4Q é um componente plano capaz de gerar sinais especificando o centro do feixe de luz que incide em sua superfície. Um diodo de efeito lateral é um componente que gera um sinal proporcional à posição da luz chegando em um eixo. Quando o sensor utilizado é uma câmera, técnicas de visão computacional devem ser utilizadas para determinar a posição do objeto. Se somente uma câmera for utilizada, é possível determinar um segmento de reta que passa pelo objeto detectado e pelo centro de projeção da câmera. Usando mais de uma câmera, pode-se determinar a posição e orientação do objeto.
- **Precisão/Velocidade:** a velocidade de captura depende muito do sensor empregado. Uma câmera padrão National Television Systems Committee (NTSC) consegue capturar imagens a taxas de 30 quadros por segundo, limitando a amostragem, enquanto câmeras digitais podem capturar a taxas de 200 a 1000 quadros por segundo. A precisão dos dados depende das técnicas de visão computacional empregadas: calibração de câmera, extração de informação da imagem e utilização de filtro para evitar tremidos.
- **Interferência do meio:** O laser e outros emissores podem refletir em objetos próximos atrapalhando a medição.
- **Restrições:** A câmera deve estar sempre enxergando o objeto sendo rastreado e o emissor de luz não pode estar obstruído. Uma solução com três ou quatro câmeras oferece redundância e permite que uma ou duas sejam bloqueadas antes do sistema deixar de funcionar.



**Figura 18** - Dispositivos ópticos

Fonte: CONTI, 2006

#### ***2.5.4 Sistema tutor inteligente e realidade virtual na medicina***

A visualização é essencial na Medicina. Desde os atlas anatômicos baseados em desenhos ou esquema, há muito utilizados nos cursos de anatomia, até os atuais equipamentos radiológicos, que permitem o diagnóstico não-invasivo por imagem, a prioridade é ver para aprender, para compreender, para diagnosticar e para planejar.

Estruturas biológicas possuem normalmente formas complexas, irregulares e cheias de detalhes, muitos deles em escala inferior. Tanto no caso do aprendiz que precisa conhecer e memorizar a organização anatômica do corpo humano, com o formato e localização de cada órgão e estrutura, como no caso do profissional que precisa obter informações sobre um paciente específico para poder diagnosticá-lo e tratá-lo, as informações visuais são de extrema importância.

A RV traz como grande contribuição para esse contexto o fato de permitir a visualização e a interação 3D com modelos geométricos, que podem ser construídos a partir de dados reais, obtidos de cadáveres ou de um paciente vivo utilizando equipamentos radiológicos. O salto de qualidade da informação que se obtém quando se troca um desenho em papel ou uma imagem de má qualidade no vídeo de um equipamento de ultra-som ou tomografia, por um modelo 3D interativo é enorme. Técnicas de visualização e interação, como a visão estérea e as interfaces hápticas, permitem recriar a forma, a elasticidade, o peso e outras propriedades dessas estruturas dentro de um computador. Também agrega facilidades que não existem no mundo real, tais como a mudança de escala, a navegação no interior das estruturas, separação de modelos por tópico (esqueleto, músculos, sistemas nervoso, etc.), bem como permitir a adição de informações complementares durante a exploração dos modelos, tais como nomes e explicações.

Produtos comerciais e projetos acadêmicos propõem novas formas de estudar anatomia e conhecer o corpo humano através de visualizadores baseados em RV. Nessas aplicações é possível ter uma aula de anatomia pelo computador, onde se utilizam técnicas de multimídia para combinar informações textuais, sonoras, filmes e imagens estáticas, adicionadas de modelos 3D interativos do corpo humano. Diversos exemplos dessas aplicações podem ser encontrados<sup>9,10</sup>. Algumas aplicações não comerciais também merecem ser citadas, tais como o *Anatomy Browser*, desenvolvido pelo *Medical Vision Group*<sup>11</sup>, do *Massachusetts Institut of Technology* (MIT), e o projeto *3-D Anatomy for Students*<sup>12</sup>, da *McGill University* do Canadá.

Esses simuladores utilizam modelos construídos a partir de dados reais, obtidos através de técnicas de escaneamento diversas, ou modelos sintetizados usando ferramentas de edição 3D. A criação desses modelos é um trabalho complexo, que requer a combinação de diversas técnicas e etapas. Diversos desses projetos utilizam dados brutos provenientes do *Visible Human*<sup>13</sup>. Esse projeto, sem fins lucrativos, financiado pelo *National Library of Medicine* nos Estados Unidos da América e implementado pela *University of Colorado*, disponibiliza um conjunto de imagens obtidas pelo fatiamento (literal) de um doador, um criminoso condenado a morte, que foi congelado logo após sua execução e depois fatiado em finas camadas de 1mm. As imagens foram depois segmentadas de forma a se identificar o contorno dos órgãos e estruturas da seção transversal correspondente a cada fatia, e depois, num processo de montagem dos contornos, obteve-se modelos tridimensionais de todas as partes do corpo humano. A Figura 19 mostra um modelo 3D criado pela *Voxel-Man*<sup>14</sup> a partir dos dados do *Visible Human*<sup>15</sup>.

---

<sup>9</sup> <http://www.anatomy.tv>

<sup>10</sup> <http://www.anatomyworld.com>

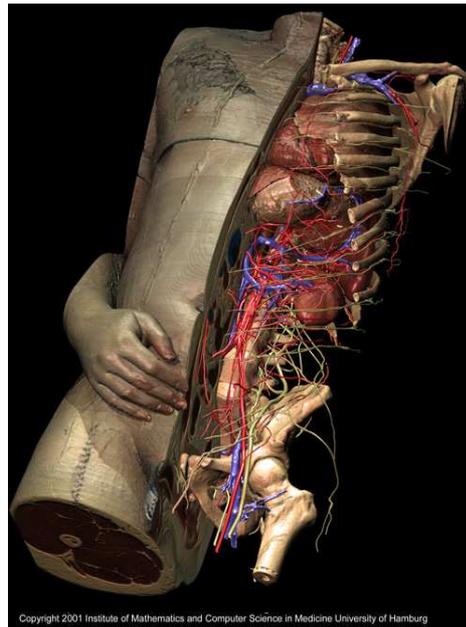
<sup>11</sup> <http://groups.csail.mit.edu/vision/medical-vision>

<sup>12</sup> <http://sprojects.mmip.mcgill.ca/anatomy3d>

<sup>13</sup> [http://www.nlm.nih.gov/research/visible/visible\\_human.html](http://www.nlm.nih.gov/research/visible/visible_human.html)

<sup>14</sup> <http://www.voxel-man.de/>

<sup>15</sup> [http://www.nlm.nih.gov/research/visible/visible\\_gallery.html](http://www.nlm.nih.gov/research/visible/visible_gallery.html)



**Figura 19** - Visualizador Anatômico

**Fonte:** *Visible Human*, 2001

### ***2.5.5 Simulação de procedimentos cirúrgicos***

Procedimentos médicos, em geral, exigem do profissional que os executa um conhecimento e uma destreza que são adquiridos com a experiência prática. De maneira geral, a prioridade é minimizar os riscos para o paciente, o que se tenta fazer através do desenvolvimento de equipamentos e técnicas cada vez mais sofisticados. Entretanto, na maioria dos casos, o equipamento e a técnica não substituem a destreza do profissional que os utiliza, e nem anulam totalmente os riscos ao paciente. Mais do que isso, algumas técnicas extremamente eficientes e pouco traumáticas para o paciente, como os procedimentos minimamente invasivos de laparoscopia, exigem muito mais destreza por parte do especialista que as técnicas tradicionais. De uma simples injeção até uma complexa laparoscopia, o tempo de execução, a qualidade dos resultados e o impacto na saúde do paciente, dependem da experiência do profissional que executa o procedimento. A curva de aprendizagem varia de acordo com a complexidade do procedimento, a experiência prévia do profissional, e principalmente a maneira como o processo de aprendizagem ocorre, em número de casos, mas também pela diversidade de casos, a pressão externa durante a aprendizagem e o acompanhamento de um tutor.

Nos cenários tradicionais de treinamento médico um especialista conduz um procedimento real, oferecendo ao aprendiz a oportunidade de inicialmente ver, então ajudar e finalmente executar um procedimento sob sua supervisão. Embora essa prática permita uma

aprendizagem gradual dos residentes, alguns riscos existem, tais como o aumento da duração do procedimento, possíveis complicações e custos extras causados por erros ou atrasos. Em função disso, em alguns países, como nos EUA, a legislação limita a participação de residentes em procedimentos médicos, o que aumenta ainda mais o tempo necessário para um treinamento de qualidade.

A introdução da RV no processo de aprendizagem de procedimentos médicos promete revolucionar esse processo, uma vez que cobaias, cadáveres e pacientes podem ser substituídos por mundos virtuais. Neste sentido, o aprendiz pode repetir à exaustão os procedimentos, sendo exposto a uma infinita variedade de situações e patologias, sem nenhuma pressão externa e, ainda, acompanhado por sistemas tutores que podem avaliar a evolução do aprendiz e direcionar o processo de aprendizagem de acordo com as necessidades e aptidões do aprendiz.

Esse ambiente de treinamento ideal, obviamente ainda não existe, principalmente devido às limitações tecnológicas e de modelagem da RV. Um dos principais problemas nesse caso são as interfaces entre o aprendiz e o mundo virtual, uma vez que os procedimentos médicos envolvem em geral capacidades cognitivas e interações físicas complexas entre o profissional, os equipamentos e o paciente, exigindo normalmente gestos finos e alta sensibilidade no contato, na audição e na visão. Outro grande desafio na simulação dos procedimentos vem também da necessidade de interação física com os modelos. Enquanto que nas aplicações de visualização de estruturas biológicas o usuário analisa e interage com estruturas estáticas (rígidas), em torno e dentro das quais o usuário pode navegar, na simulação dos procedimentos é necessário recriar a interação física que o profissional teria com as estruturas reais, incluindo o toque, a apreensão, os cortes, etc. Tecidos biológicos são, em sua grande maioria, bastante deformáveis, o que exige que seus modelos também o sejam. Modelos virtuais deformáveis são ordens de magnitude mais complexos que modelos estáticos, exigindo centenas, às vezes milhares de equações que precisam ser corretamente definidas e resolvidas em tempo de execução utilizando métodos numéricos sofisticados, bem como exigindo grande capacidade de processamento dos computadores. Mesmo assim, alguns simuladores específicos têm obtido precisão e flexibilidade suficientes para serem usados efetivamente como ferramentas de treinamento, como veremos adiante nessa seção.

Outro uso bastante revolucionário dos simuladores de procedimentos médicos é o apoio ao planejamento. Um simulador cujo modelo tenha sido construído para replicar a

anatomia de um paciente específico pode ser utilizado para simular as diversas opções de procedimento que o especialista dispõe. Dessa forma, uma série de decisões a serem tomadas antes e durante um procedimento real, tais como escolhas de próteses, enxertos, local de incisão, técnica de incisão, etc., podem ser testadas e comparadas. Outro importante aspecto do planejamento apoiado por simuladores é a previsão e a correção de variações nos dados provenientes de exames pré-operatórios, como o deslocamento de um tumor entre o momento de uma tomografia e a execução da cirurgia.

O primeiro pré-requisito de um simulador destinado ao treinamento de procedimentos médicos é ser dotado de uma interface que imite de forma muito próxima a configuração real que o especialista vai encontrar num contexto real. Cada procedimento tem suas características, definidas pelo equipamento a ser utilizado no procedimento e a forma de contato com o paciente. Dispositivos idênticos aos equipamentos médicos são construídos e ligados a um computador onde a simulação ocorre. Volumes ou manequins são usados para representar o paciente. As partes do corpo do paciente afetadas pelo procedimento são modeladas e simuladas em tempo real durante a execução do treinamento. O aprendiz recebe retorno visual e muitas vezes retorno háptico, de forma a sentir as mesmas sensações que terá durante um procedimento real. Sistemas tutores acompanham a execução do treinamento, e podem adicionar informações ao aprendiz, tais como dicas e alertas visuais ou sonoros. Alguns simuladores simulam reações do paciente, tais como gemidos de dor, tosse, sangramento, falta de ar, etc.

Alguns simuladores já estão disponíveis para determinados procedimentos tais como:

- A endoscopia é um procedimento invasivo no qual se insere uma sonda pelo nariz, boca ou ânus do paciente para poder investigar, e algumas vezes tratar, problemas nos sistemas digestivo ou respiratório. A sonda é dotada de uma câmera de vídeo na sua extremidade e é dirigida pelo especialista que pode controlar a inserção e a orientação da extremidade e assim direcionar sua trajetória. Durante o exame o especialista sente a resistência à inserção da sonda ao mesmo tempo em que vê numa tela a imagem gerada pela câmera. Com essas duas informações, tátil e visual, ele se orienta no interior do corpo do paciente na busca de uma região específica a ser examinada. Simuladores, tais como o *Endoscopy Simulator* mostrado na Figura 20, da *Immersion Medical*, podem simular broncoscopias e exames gastrointestinais com bastante realismo, e já se tornaram em produtos de bastante sucesso no novo mercado de simuladores médicos.



**Figura 20** - Simulador endoscópico

**Fonte:** <http://www.immersion.com/medical>

- A laparoscopia é um procedimento diagnóstico e cirúrgico baseado no uso de instrumentos cilíndricos que são inseridos na cavidade pélvica ou abdominal. Através de pequenas incisões é passado um instrumental chamado “trocarte” composto por duas partes: a parte externa chamada de camisa e a interna formada pela lâmina para perfurar o abdômen, por exemplo, por onde serão introduzidos os outros instrumentais: pinças, tesouras, cautérios, porta agulhas, entre outras. A visualização interna da cirurgia é feita através de câmaras de vídeo miniaturizadas, também inseridas através de pequenas incisões, e nesse caso a técnica é conhecida como vídeo-laparoscopia como pode ser observado na Figura 21.



**Figura 21** - Simulador de laparoscopia

**Fonte:** <http://www.symbionix.com>

### ***2.5.6 Ergonomia de interfaces***

Segundo Squires e Preece (1997), a construção de software educacional exige uma abordagem interdisciplinar para que os produtos desenvolvidos possuam a qualidade desejada. A interface configura-se em uma etapa crítica do desenvolvimento, pois as contribuições das diferentes áreas envolvidas devem ser integradas, aliando ainda o conhecimento sobre as características do público alvo e as restrições tecnológicas.

Esta dificuldade manifesta-se em grande parte dos softwares educacionais existentes no mercado. Muitos possuem interfaces esteticamente atrativas, cheias de cores e animações, porém, não possuem teor educativo e não consideram a realidade do público alvo. Desta forma, não cumprem com os quesitos básicos esperados, ou seja, que se constituam em ferramenta que agregue valor ao cotidiano pedagógico do professor, efetivando a aprendizagem de conteúdos, conceitos e habilidades.

A interface de um software educacional é de extrema importância, pois é através dela que é feito o contato com o usuário e que as informações e atividades são comunicadas. A Interação Humano-Computador se preocupa em criar métodos e técnicas para construção de interfaces visando projetos centrados no usuário. Para isso a interface deve possuir a qualidade ergonômica da usabilidade que é uma propriedade da interface homem-computador que confere qualidade a um software.

A ergonomia como ciência trata de desenvolver conhecimentos sobre as capacidades, limites e outras características do desempenho humano e que se relacionam com o projeto de interfaces, entre indivíduos e outros componentes do sistema. Como prática, a ergonomia compreende a aplicação da tecnologia da interface homem-interface a projetos ou modificações de sistemas para aumentar a segurança, conforto e eficiência do sistema e da qualidade de vida. No momento, esta tecnologia única e especial, possui pelo menos quatro componentes principais identificáveis, que do mais antigo ao mais recente, são as seguintes: tecnologia da interface homem-máquina ou ergonomia de "hardware", tecnologia da interface homem-ambiente ou ergonomia ambiental, tecnologia da interface usuário-sistema ou ergonomia de "software", e tecnologia da interface organização-máquina ou macroergonomia" (HENDRICK, 1991).

Dentro desses princípios, podem-se destacar alguns pontos importantes para a configuração da ergonomia de sistema:

- a ergonomia de "hardware", para o design de produtos, com ênfase na usabilidade;
- a ergonomia de "software", interface com sistemas, considerando a ergonomia da interação homem computador, a usabilidade de programas;
- a ergonomia ambiental, focalizando os sistemas de informação - controle estático ou dinâmico, instruções, painéis, sinalização.
- quanto à tecnologia da interface organização-máquina ou macroergonomia, por suas óbvias relações com a psicologia e com a engenharia de produção, restringiu-se apenas ao processo de produção de produtos e à análise de sistemas específicos onde ocorram as interações explícitas com produtos, máquinas e equipamentos.

Contudo, depois da análise dos princípios da ergonomia, algumas outras questões precisam ser respondidas (HENDRICK, 1991):

- A complexidade do ambiente multimídia é adequada?
- O aprendiz interage ativamente?
- A fantasia é utilizada de maneira adequada?
- O conteúdo é apropriado ao currículo?
- Quão navegável é o software?
- Que forma de *feedback* é fornecida ao aprendiz?
- Qual o nível de controle do aprendiz sobre a interface?

### **3. METODOLOGIA**

#### **3.1 Classificação da pesquisa**

Do ponto de vista da abordagem do problema, esta é uma pesquisa quantitativa, porque visa diagnosticar a eficiência do uso de RV em STI destinados a aprendizes da área da saúde. Quanto aos meios, por se tratar de simulações feitas em computador, classifica-se como pesquisa de laboratório, porém com validações no domínio específico deste trabalho. Com relação à natureza e quanto aos fins, este trabalho pode ser classificado como metodológico e aplicado (MORESI, 2003). Metodológico porque o estudo está associado a caminhos, formas, maneiras, procedimentos para atingir determinado fim. Também é aplicado porque é fundamentalmente motivado pela necessidade de resolver problemas concretos, tendo, portanto, finalidade prática.

#### **3.2 Pressupostos**

Este trabalho parte da suposição de que *a integração RV a STI torna-os mais atrativos e contribui para o melhor entendimento de um domínio de conhecimento, sobretudo no domínio da anatomia humana, no contexto da educação médica.*

#### **3.3 Coleta e análise de dados**

Como base para os experimentos, serão utilizadas as atuais bases de ontologias do módulo de ensino do projeto IACVIRTUAL e a do projeto FMA. As ontologias modeladas para o projeto IACVIRTUAL são destinadas ao ensino pedagógico da anatomia óssea do crânio, enquanto que o projeto FMA foi modelado para toda à anatomia humana.

#### **3.4 Delimitação do estudo**

Este estudo procura apresentar o uso da RV em ambientes destinados ao ensino da anatomia humana. Entretanto, não retrata as formas de aprendizado baseado em simulação de procedimentos cirúrgicos e estratégias pedagógicas de ensino.

### 3.5 O modelo proposto

Para permitir o estudo, a proposta e a validação de conceitos no domínio analisado, foi desenvolvido um ambiente virtual inteligente para *Web*, denominado Ambiente de Simulação Médica (ASM), onde o aprendiz e o especialista podem interagir de forma colaborativa, utilizando a idéia dos STI, auxiliado por um ambiente de RV. O projeto ASM, além do seu valor final como ferramenta educacional, traz no seu bojo uma lista de problemas muito interessantes e desafiadores a serem atacados por pesquisadores de diversas áreas, como Engenharia Biomédica, Matemática, Física, Medicina e Ciência da Computação.

Além dos problemas típicos da Computação Gráfica e da Geometria Computacional, o projeto exige a solução de diversos problemas relacionados à concepção de um sistema complexo, envolvendo fatores relacionados a *software* e *hardware*, tais como:

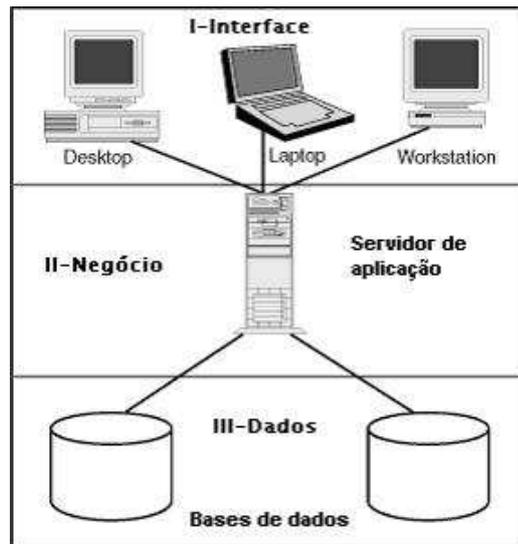
- uso de *hardware* gráfico especializado, alta capacidade de processamento, otimização de algoritmos, métodos e estruturas de dados, manipulação de grandes quantidades de dados, multiprocessamento, sincronização e respostas em tempo real;
- integração de RV ao ambiente *Web*;
- repasse da semântica de aprendizado do STI para a RV;
- possibilidade de navegação em diferentes conceitos dentro de um mesmo domínio de conhecimento auxiliado pela RV;
- implementação de interfaces hápticas.

Inicialmente, o enfoque do trabalho é voltado ao estudo das estruturas ósseo-cranianas, devido às necessidades atuais da área médica da UCB. Ao final, a solução será avaliada por um conjunto de aprendizes e um especialista da área da saúde de forma a validar a arquitetura em estudo.

#### 3.5.1 Arquitetura do ASM

A arquitetura proposta pelo ASM busca integrar, inicialmente, três diferentes áreas, que são essenciais para a construção de qualquer software: interface, negócio e dados (Figura 22). Todavia, alterando cada uma dessas camadas sobre a ótica dos requisitos propostos pela dissertação, ocorre que:

- Na camada de interface ou apresentação, é preciso abordar perspectivas tais como ergonomia, RV, interface de acesso *Web* e interfaces hápticas;
- Na camada de negócio, os requisitos a serem abordados são: distribuição dos serviços ofertados pelo sistema e acesso simplificado a cada serviço;
- Na camada de dados, os requisitos a serem abordados são: representação de relacionamento entre diferentes domínios, facilidade de manutenção e disseminação do conhecimento.



**Figura 22** –Arquitetura básica de software: (i) interface, (ii) negócio e (iii) dados

**Fonte:** o autor

Baseando-se nessa especificação por camadas de software, este trabalho propõe a seguinte arquitetura para atender os requisitos dessa etapa de desenvolvimento do ASM, os quais são ilustrados na Figura 23.

### **Camada de dados**

O ponto de partida para a elaboração da camada de dados foi uma análise sucinta do funcionamento da formalização do conhecimento em ontologias, a fim de que diferentes tipos de dados pudessem ser armazenados e relacionados. Basicamente, uma ontologia é composta por definições de classes, atributos, relacionamentos, domínios, vocabulários e instâncias de classe, todas essas características representadas em um modelo OWL, com o objetivo de formalizar um determinado conhecimento.

A tecnologia de formalização de conhecimento em ontologias é usada com o objetivo

de garantir uma forma de acesso ao conhecimento de uma maneira organizada, formal e com um vocabulário único, além de possibilitar a navegação no conhecimento de uma forma hierárquica e lateral, através dos relacionamentos produzidos entre as classes. O conhecimento é obtido da ontologia através de comentários adicionados às classes, da definição das hierarquias e relacionamentos, do vocabulário associado à classe, dos axiomas representados e das restrições e domínios adicionados em cada classe.

Seguindo uma solicitação de professores da área de Saúde da UCB, o domínio do conhecimento abordado pelo trabalho enfoca a Anatomia Humana, especificamente o sistema esquelético, em virtude da facilidade de representação dessas estruturas em ambientes 3D em comparação com as outras estruturas anatômicas. O conhecimento foi formalizado de forma colaborativa com um especialista nesse domínio. A ferramenta de desenvolvimento empregada foi o PROTÉGÉ<sup>16</sup>, destinada à edição de ontologias.

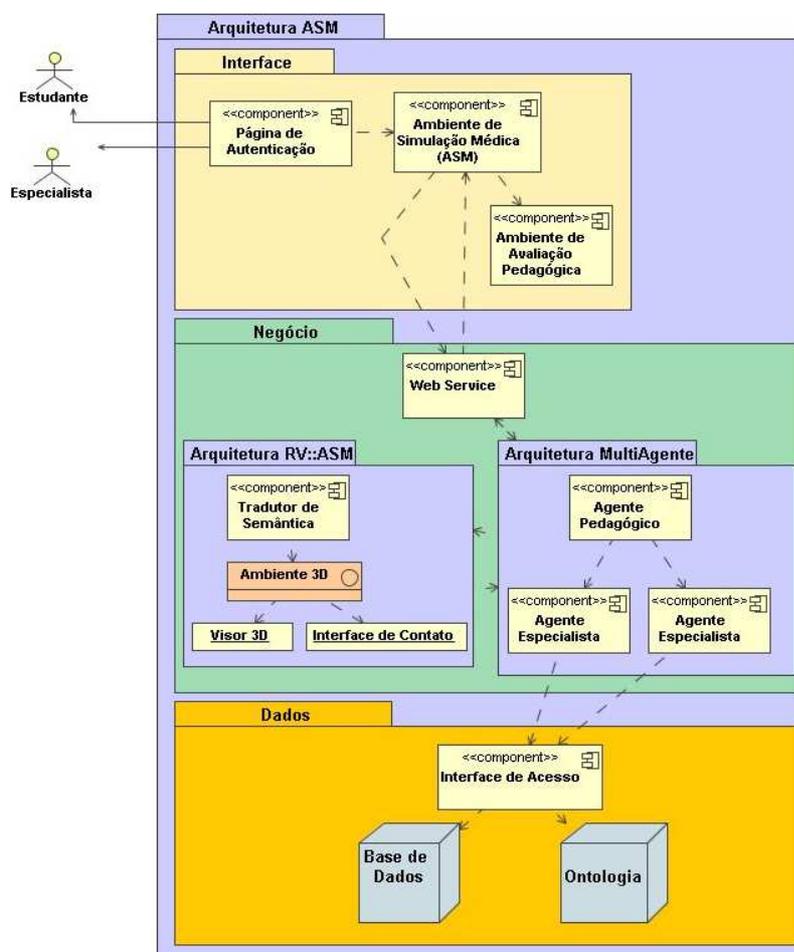


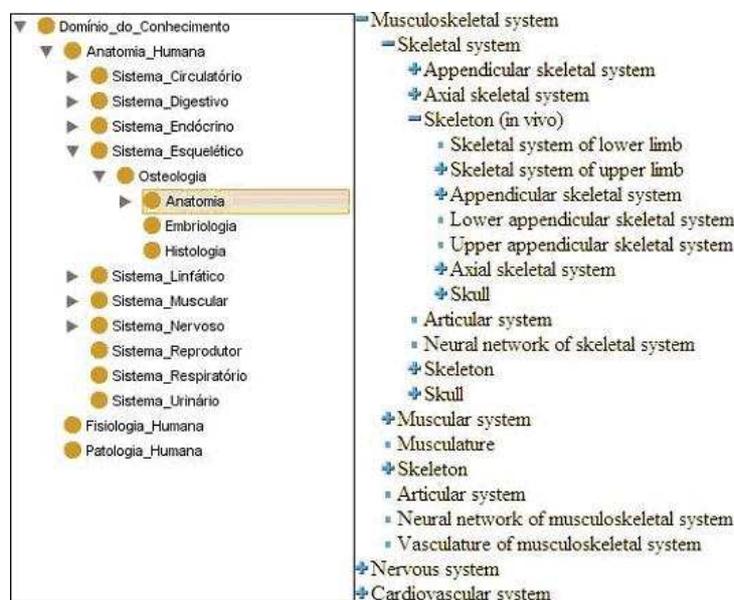
Figura 23 – Arquitetura do ASM

Fonte: o autor

<sup>16</sup> <http://protege.stanford.edu/>

Essa formalização buscou identificar as classes, conteúdos de classes, relacionamentos, atributos, instâncias básicas do conhecimento abordado, inclusive o relacionamento com o domínio da RV. A ontologia elaborada no âmbito deste trabalho teve como base a *Foundational Model of Anatomy* (FMA)<sup>17</sup>, ontologia desenvolvida pela Universidade de Washington e que também é destinada à formalização do conhecimento da Anatomia. A Figura 24 apresenta uma comparação estrutural entre essas duas ontologias. Toda a estrutura básica dos outros sistemas da anatomia humana foi modelada, contudo, estes não serão focados neste trabalho. Foi também formalizado o relacionamento da Anatomia com outros dois domínios: a Patologia e a Fisiologia. Em relação à associação com o domínio da RV, o projeto FMA traz no seu conjunto de relacionamentos uma associação primária em relação a este domínio. Entretanto, a ontologia proposta por esse trabalho aprimora o relacionamento entre os dois domínios do conhecimento.

Durante a construção da ontologia, que formaliza o conhecimento sobre anatomia humana, foram definidos os relacionamentos representados no Quadro 1, buscando associar os diferentes sub-domínios da Anatomia Humana, isto é, a própria anatomia, a patologia e a fisiologia. Ao final da definição desse fluxo de relacionamento, foi possível construir o diagrama da Figura 25, que detalha as relações entre as classes.



**Figura 24** - Lapidação da ontologia – (i) modelo ASM, (ii) modelo FMA

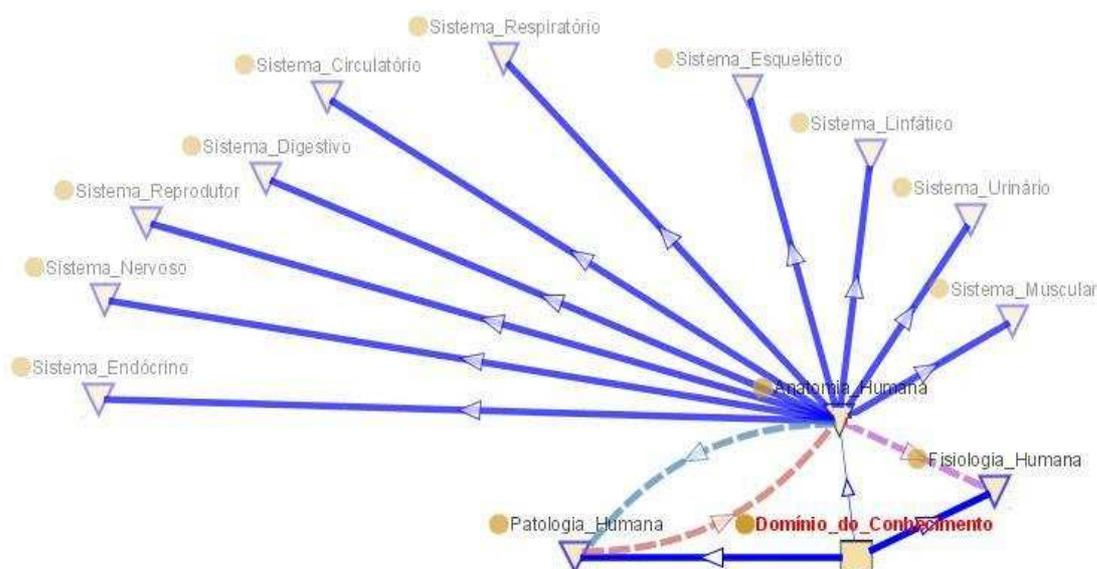
**Fonte:** o autor

<sup>17</sup> <http://sig.biostr.washington.edu/projects/fm/AboutFM.html>

Relacionamentos	Significado
fomaN	Informa a qual estrutura superior pertence a estrutura selecionada. Exemplo: Esfenoide forma o Crânio
eFormado	Informa quais estruturas inferiores compõe a estrutura superior. Exemplo: Crânio eFormado pelo Esfenoide
compoe	Este relacionamento define quais elementos compõem organicamente a estrutura selecionada. Exemplo: Cálcio compõe o Esfenoide
ecomposto	Identifica a composição da estrutura selecionada. Exemplo: O Crânio é composto de cálcio
sofre	Busca uma relação da anatomia com a patologia, buscando evidenciar as doenças que a estrutura selecionada sofre. Exemplo: O Crânio sofre esteoporose
causa	Busca a relação da patologia com a anatomia. Exemplo: A esteoporose causa problemas no crânio.
funciona	Busca a relação da anatomia com a fisiologia. Exemplo: O crânio funciona como proteção do cérebro.

**Quadro 1** - Relacionamento presentes na ontologia sobre anatomia humana

Fonte: o autor



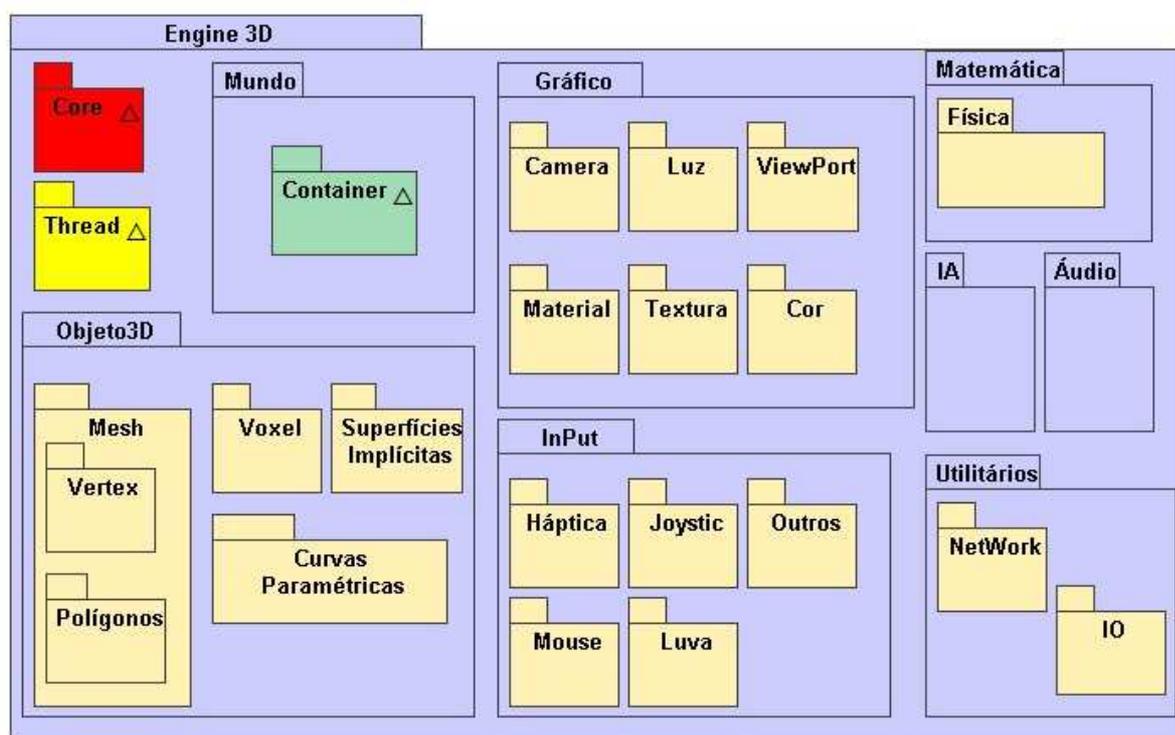
**Figura 25** – Diagrama de relacionamentos entre os subdomínios da Anatomia Humana

Fonte: o autor

A proposta de aprimoramento da ontologia com a inserção da RV baseou-se na idéia de que estruturas anatômicas podem ter representações 3D e tais representações podem contribuir para o ensino médico. Nesse sentido, também foi necessário formalizar RV em estruturas de ontologia, possibilitando facilitar o relacionamento com a ontologia da Anatomia Humana. A formalização da RV foi baseada em arquiteturas de *engines* de processamento gráfico já disseminadas, descrita na Figura 26, desenvolvida, por exemplo, na

framework CHAI3D, proposta e implementada pelo grupo de RV da Universidade de Stanford (CONTI, 2006).

Para completar a formalização da RV, foi necessário definir um conjunto de propriedades, métodos, relacionamentos e restrições de cada subclasse da arquitetura. As propriedades/atributos estão descritos no Quadro 2. Dentro dessa formalização do conhecimento existe um atributo representado na ontologia e que é de vital importância para o ambiente de RV, que consiste no modelo de estrutura anatômica 3D. Esta estrutura é obtida a partir de tomografias computadorizadas e remontadas por softwares específicos, por exemplo, o *Slicer 3D*<sup>18</sup>, que exporta esse conjunto de dados em um arquivo 3DS, podendo ser interpretado por qualquer software de modelagem, como é o caso do 3DMAX<sup>19</sup> ou *Blender*<sup>20</sup> (Figura 27). Com o objetivo de facilitar a navegação por cada estrutura interna de maneira independente, a estrutura principal foi dividida conforme a descrição dos livros de anatomia.



**Figura 26** – Arquitetura de *Engine 3D*

Fonte: o autor

<sup>18</sup> <http://www.slicer.org/>

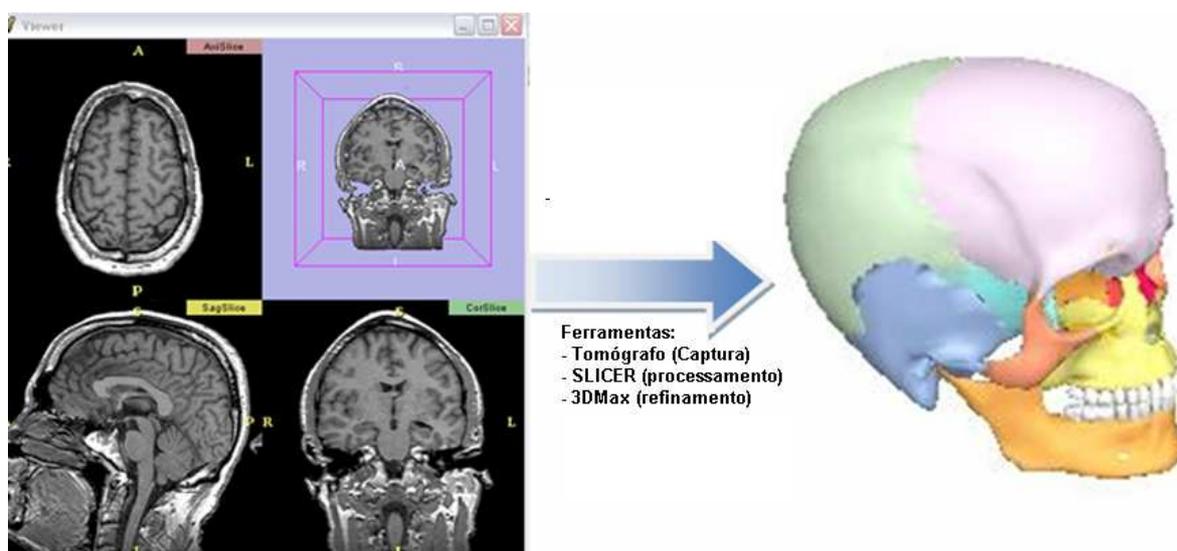
<sup>19</sup> <http://usa.autodesk.com/adsk>

<sup>20</sup> <http://www.blender.org/>

Classe	Propriedade	Função
<b>Mundo</b>	mundoPosEixoCord	Defini o eixo de coordenadas do mundo
	mundoCorBackGround	Defini a cor RGB do mundo
	mundoContainer	Define um mecanismo de armazenamento das estruturas a serem processadas graficamente
	mundoAlgoritmoImportacao	Defini qual algoritmo de importação será usado para importar os objetos tridimensionais
	meshModelo3DPrincipalIndex	Defini o índice de detalhamento da submesh interna
<b>Objeto3D</b>	meshModelo3Dprincipal	Defini o arquivo com a representação da estrutura que deverá ser importada
	meshModelo3Dopcional	Defini o arquivo com a representação da estrutura opcional que deverá ser importada
	meshModelo3DprincipalPosicao	Defini qual a posição inicial da estrutura principal importada
	meshModelo3DopcionalPosicao	Defini qual a posição inicial da estrutura opcional importada
<b>Camera</b>	cameraPrinciplaAngulo	Defini o ângulo da camera principal
	cameraOpcionalAngulo	Defini o ângulo da camera opcional
	cameraPrincipalOrientação	Defini o grau de orientação da camera principal
	cameraOpcionalOrientação	Defini o grau de orientação da camera opcional
	cameraPrincipalPosicao	Defini a posição da camera principal em relação a janela S.O
	cameraOpcionalPosicao	Defini a posição da camera opcional em relação a janela S.O
<b>Luz</b>	luzOrientação	Defini a orientação da luz
	luzFoco	Defini o foco da luz
	luzPosicao	Defini a posição da luz em relação ao objeto
	luzCor	Defini a cor da luz
<b>Háptica</b>	hapticaPosicao	Indica a posição da interface de contato
	hapticaAtiva	Indica se a interface háptica deve estar ativa ou não
	hapticaForca	Indica a intensidade da força
	hapticaAtrito	Indica os parâmetros de atrito
<b>Textura</b>	textura	Define a textura que será empregada no objeto importado
<b>Material</b>	material	Define o material que será usado no objeto

**Quadro 2** – Propriedades/Atributos das subclasses da ontologia que representa a RV

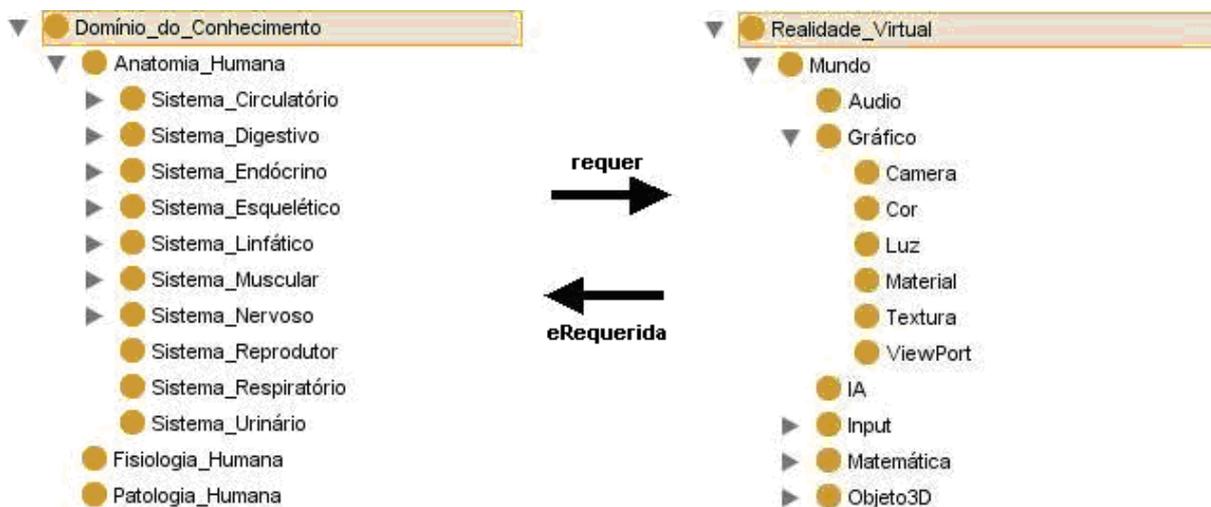
Fonte: o autor



**Figura 27** – Construção de Modelos 3D a partir de tomografias

Fonte: o autor

A partir da formalização dessas duas ontologias vislumbrou-se maneiras de relacionamento entre os domínios. A solução encontrada para tal relacionamento consiste na criação de dois relacionamentos: (I) requer e (II) eRequerido, onde o relacionamento (I) atua como a função principal e o (II) como função inversa (Figura 28). O segundo ponto baseou-se na expansão do domínio de visualização das classes de RV, definindo um relacionamento entre classes denominado herança múltipla, similar ao existente na orientação a objeto. Esta expansão possibilitou que instâncias de classe do domínio da Anatomia Humana tenham acesso as propriedades do domínio da RV (Figura 30). Estas definições foram montadas com o auxílio da ferramenta PROTÉGÉ, exemplificadas na Figura 29.



**Figura 28** – Funções de relacionamento entre as ontologias

Fonte: o autor

	Domínio do Conhecimento	Realidade Virtual
Restrições		
Expansão do Domínio		

**Figura 29** – Modelagem e restrições PROTÉGÉ

Fonte: o autor

The screenshot displays the Protégé software interface for the 'AnatomiaHumana' project. The interface is divided into several panes:

- CLASS BROWSER:** Shows a hierarchy of classes. The root is 'owl:Thing', which includes 'Domínio\_do\_Conhecimento', 'Anatomia\_Humana (1)', 'Sistema\_Circulatorio', 'Sistema\_Digestivo', 'Sistema\_Endócrino', 'Sistema\_Esquelético (1)', 'Osteologia', 'Anatomia', 'Esqueleto\_Apendicular', 'Esqueleto\_Axial', 'Coluna\_Vertebral (1)', 'Crânio (2)', and 'Torax (1)'. Under 'Crânio (2)', there are sub-classes: 'Embriologia', 'Histologia', 'Sistema\_Linfático', 'Sistema\_Muscular', 'Sistema\_Nervoso', 'Sistema\_Reprodutor', 'Sistema\_Urinário', 'Fisiologia\_Humana', 'Patologia\_Humana', and 'Realidade\_Virtual'.
- INSTANCE BROWSER:** Shows instances for the class 'Crânio'. It lists 'Crânio' and 'Crânio\_Objeto3D'.
- INDIVIDUAL EDITOR:** Shows the editor for the instance 'Crânio\_Objeto3D'. It displays several properties with their values:
 

Property	Value
cameraOpcionalAngulo	5º
hapticarOscilao	x=0, y=1, z=1
hapticarOscilao_X	x=0, y=1, z=1
hapticarOscilao_Y	x=0, y=1, z=1
hapticarOscilao_Z	x=0, y=1, z=1
meshModelo3DPrincipaI	Imodelos\lcrânio\crânio_3ds
meshModelo3DPrincipaIInd	null
meshModelo3DPrincipaIPor	x=0, y=1, z=1
meshModelo3DPrincipaIPorInd	x=0, y=1, z=1
meshModelo3DPrincipaIPorLang	x=0, y=1, z=1
cameraOpcionalOrientação	x=0, y=1, z=1
cameraOpcionalOrientaçãoLang	x=0, y=1, z=1
cameraOpcionalOrientaçãoType	string
hapticarOscilao_XType	string
hapticarOscilao_YType	string
hapticarOscilao_ZType	string
meshModelo3DPrincipaIPorType	string
meshModelo3DPrincipaIPorLangType	string

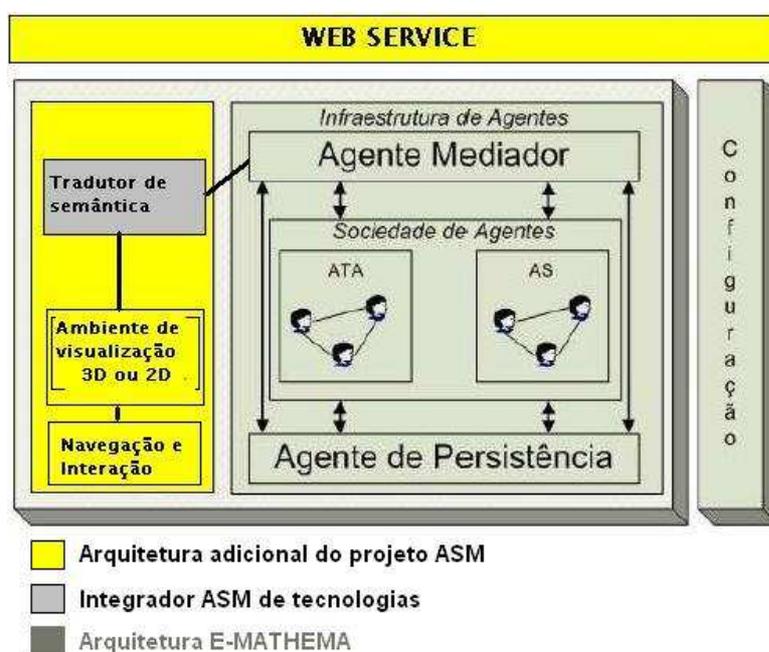
Figura 30 – Ambiente Protégé (I) Classes, (II) Instancias de Classe, (III) Atributos

Fonte: o autor

## Camada de Negócio

O ponto de partida para a elaboração da camada de negócio foi a delimitação do serviço prestado pela camada. Em outras palavras, esta camada deve possibilitar que uma determinada interface solicite informações ao repositório do conhecimento (neste caso, a ontologia), cujo serviço possa ser acessado por qualquer outro sistema que queira questionar o conhecimento formalizado. Dependendo do relacionamento e da autorização, serão disponibilizados alguns serviços, entre eles: importação de novos conhecimentos, pesquisa sobre informações na base ontológica, ambientes de RV, ambientes de realidade estática (imagens 2D) e ambientes de análise pedagógica.

Através da tecnologia de *WebService*<sup>21</sup>, o ASM disponibiliza uma infra-estrutura de comunicação e acesso a diferentes serviços, isto é, uma arquitetura *Service-Oriented Architecture* (SOA) (KRAFZIG e BANKE, 2004), possibilitando que outros sistemas possam requerer os serviços providos por este trabalho. Por conseguinte, estes serviços não podem ser simplesmente disponibilizados. É necessário que exista uma abordagem destinada ao ensino e aprendizagem, por exemplo, a arquitetura E-MATHEMA (BITTENCOURT, 2006). A Figura 31 representa a integração entre a infraestrutura do E-MATHEMA e a arquitetura ASM através de um tradutor de semântica, que torna acessível a ontologia ao STI.

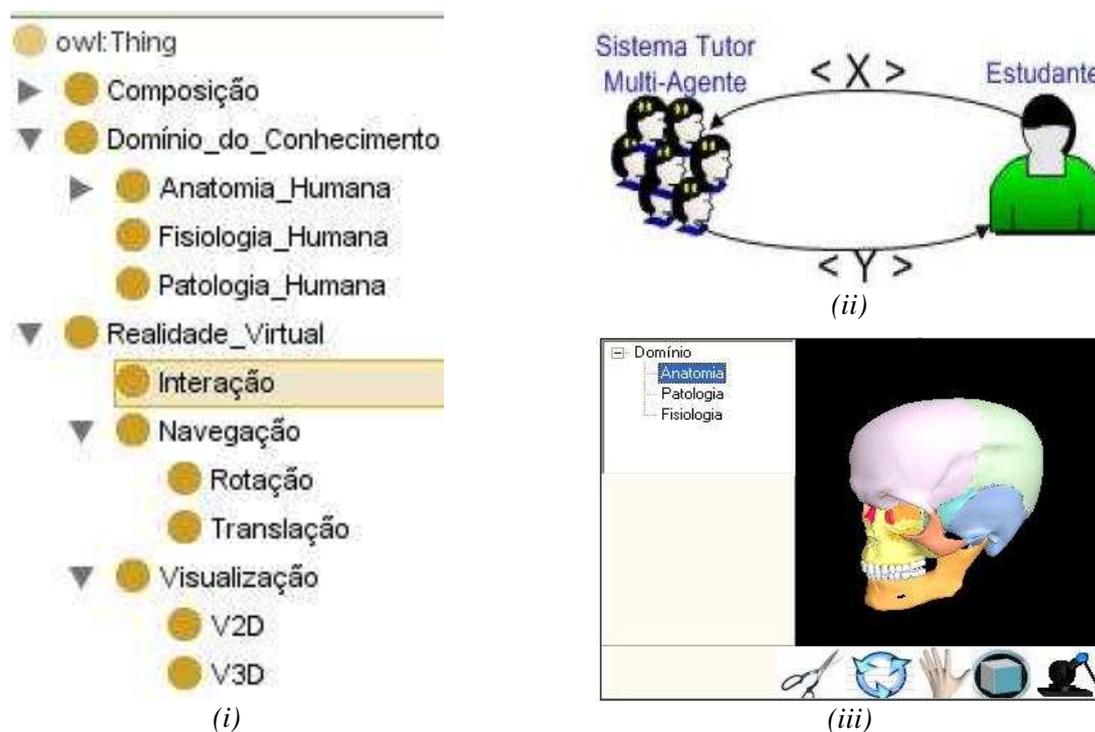


**Figura 31** – Proposta de Integração do E-MATHEMA com a arquitetura ASM

**Fonte:** o autor

<sup>21</sup> <http://java.sun.com/webservices/>

Entretanto, como um dos serviços disponibilizados corresponde ao ambiente de RV, é necessário que a semântica de aprendizado desenvolvida em conjunto com a ontologia seja traduzida para a RV. Com isso, é possível tornar o ambiente 3D não um mero visualizador de estruturas 3D, mas sim um novo mecanismo de ensino, baseado nos relacionamentos definidos pela ontologia e repassados pelo agente pedagógico (Figura 32).



**Figura 32** – Repasse da semântica de ensino para o ambiente de RV: (i) Ontologia, (ii) Sociedade de Agentes e (iii) Ambiente de RV + semântica de ensino

**Fonte:** o autor

O repasse da semântica de ensino é baseado nos conceitos de horizontalidade e lateralidade previstos na ontologia, garantida pela hierarquia e relacionamento entre as classes. A tradução do conhecimento para a RV consiste em repassar a localização da ontologia a fim de compatibilizar a base de informações da RV e STI, além de indicar o ponto de estudo selecionado pelo aprendiz, possibilitando que o mesmo se adapte às características e interações.

Quando o ambiente virtual do ASM é selecionado, o mesmo localiza na ontologia a respectiva classe em estudo, selecionada pelo aprendiz no STI. Esta classe é vista sobre os domínios da Anatomia, Patologia e Fisiologia, agora indicadas pelo aprendiz na RV. Isso possibilita a determinação específica da necessidade do aprendiz que, ao selecionar uma

dessas visões, ativa a reestruturação do ambiente virtual sobre o domínio e a visão desejada.

A reestruturação do ambiente 3D consiste, inicialmente, do ajuste dos parâmetros do ambiente virtual, tais como:

- Objeto 3D principal a ser importado no ambiente 3D;
- Objeto 3D secundário que pode auxiliar a interação com o objeto principal;
- Posição da luz do ambiente em relação ao objeto principal;
- Posição das câmeras principal e secundária;
- Posição do objeto em relação ao ambiente 3D;
- Algoritmo de importação dos objetos 3D;
- Posição da luz em relação ao objeto.

O passo seguinte consiste em avaliar se a estrutura selecionada (Figura 33*i*) está inserida em uma estrutura maior, através da análise hierárquica, isto é, verificando se a classe atual é fruto de uma herança. Caso seja apenas a classe herdada, esta será visualizada no ambiente virtual de forma completa (Figura 33*ii*) e as demais serão visualizadas com efeitos de transparência (Figura 33*iii*).

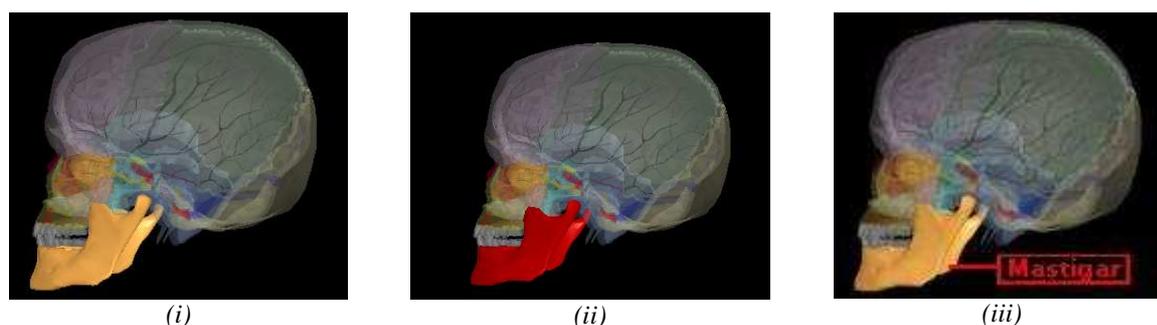
O próximo passo consiste em avaliar os relacionamentos laterais da classe selecionada com os domínios primários formalizados, isto é, anatomia, fisiologia e patologia. Em seguida, conforme a interação do aprendiz no ambiente 3D, o mesmo poderá solicitar a visualização da estrutura anatômica selecionada conforme as características específicas de cada domínio de maneira independente, por exemplo, se o aprendiz solicitou o estudo da mandíbula este poderá solicitar a visualização da mandíbula sobre o aspecto da anatomia ou patologia e ou fisiologia.

Caso o aprendiz selecione a opção de classificação “patologia” (Figura 34*ii*), o objeto 3D será condicionado sobre a forma de alteração de textura, e em relação a “fisiologia” (Figura 34*iii*) será apresentado em forma de texto a real função da estrutura selecionada. Em relação a associação com domínio da RV, este busca representar as diferentes formas de visualização, navegação e interação do aprendiz no ambiente de RV.



**Figura 33** – (i) Visualização hierárquica da (ii) mandíbula em relação ao (iii) crânio

Fonte: o autor



**Figura 34** – Alternância entre os domínios da (i) Anatomia, (ii) Patologia e (iii) Fisiologia

Fonte: o autor

### Camada de interface ou apresentação

O ponto de partida para a elaboração da camada de apresentação foi a definição de alguns requisitos que contribuiriam para o ensino da anatomia humana, entre os quais destacam-se: ambiente de acesso *Web*, ergonomia e forma de disponibilização da informação, integração de ambiente estáticos e dinâmicos para a visualização de estruturas anatômicas em ambiente *Web*, integração de interfaces de contato possibilitando uma melhor compreensão da estrutura apresentada no ambiente 3D.

Como a ergonomia é um princípio básico identificado pela área médica, alguns questionamentos precisam ser respondidos no momento de definição da interface: A diversidade de informações e serviços do ambiente multimídia é adequada? O aprendiz

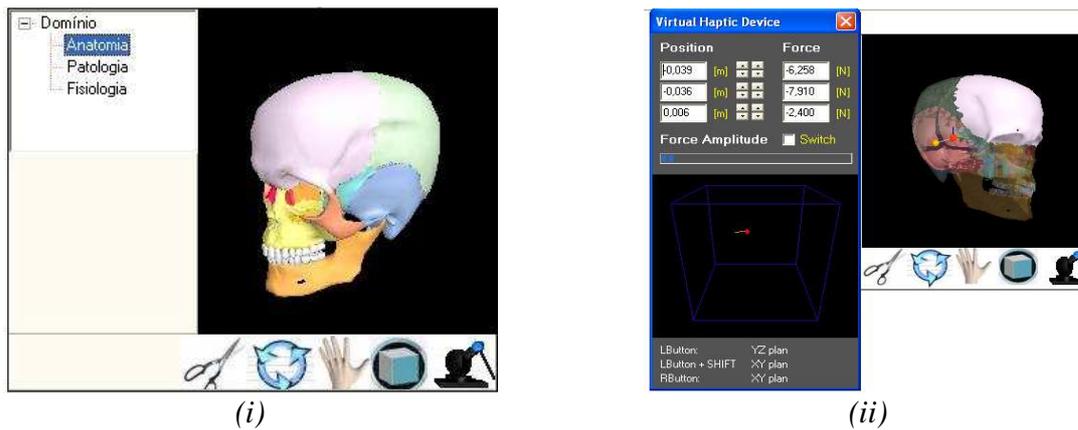
interage ativamente? A fantasia é utilizada de maneira adequada? O conteúdo é apropriado ao currículo? Quão navegável é o software? Que forma de *feedback* é fornecida ao aprendiz? Qual o nível de controle do aprendiz sobre a interface? Nesse sentido, o Quadro 3 apresenta as respostas sobre cada questionamento sobre os quesitos levantados sobre a ergonomia do ASM.

Questionamento	Resposta da Arquitetura ASM
A diversidade de informações do ambiente multimídia é adequada?	No requisito multimídia, o ASM incorpora o conceito de RV e imagens estáticas associadas a textos.
O aprendiz interage ativamente?	A interação no ASM é baseada em <i>clicks</i> de <i>mouse</i> . Entretanto, o ambiente de RV incorpora o conceito de interface de contato, possibilitando que o aprendiz interaja com o ambiente 3D, buscando uma melhor compreensão das características da estrutura anatômica em estudo.
A fantasia é utilizada de maneira adequada?	Com o uso da RV, é possível adicionar ao processo de ensino o requisito de imersão, possibilitando que o aprendiz possa visualizar, navegar e interagir com estruturas anatômicas 3D.
O conteúdo é apropriado ao currículo?	O conteúdo disponibilizado pelo ASM foi formalizado como uma ontologia desenvolvida de forma colaborativa com especialistas da área médica, possibilitando que o aprendiz tenha acesso a um conteúdo mais refinado do que aquele ministrado nas aulas tradicionais.
Quão navegável é o software?	Como o ASM está em ambiente <i>Web</i> , a navegabilidade é baseada em <i>hiperlinks</i> : requisitam informações da camada de negócio e repassam a informação para a página que deve tratar o conteúdo.
Que forma de <i>feedback</i> é fornecida ao aprendiz?	Todas as ações realizadas pelo ASM buscam disponibilizar uma resposta para o aprendiz na forma de informações simples, conjunto de exercícios, conteúdos previamente modelados, imagens estáticas e ambientes dinâmicos personalizados.
Qual o nível de controle do aprendiz sobre a interface?	O aprendiz pode escolher se deseja manter o aprendizado pelo sistema tutor ou pelo sistema de RV.

**Quadro 3** – Como que o ASM irá atender os requisitos de ergonomia

**Fonte:** o autor

A interface baseada em RV possibilita a visualização, navegação e interação sobre objetos 3D pelas funcionalidades acessíveis através de acionadores representados iconicamente (Figura 35) e de um conjunto de equipamentos que contribuíram para a validação da arquitetura proposta pelo ASM (Figura 36).



**Figura 35** – Interfaces de interação 3D do ASM, (i) Semântica de visualização e navegação e (ii) Interação 3D com interfaces hápticas

**Fonte:** o autor



**Figura 36** – Equipamentos integrados ao ASM: *Phantom* e Óculos 3D

**Fonte:** o autor

### 3.5.2 *Material de suporte para a construção do ASM*

O desenvolvimento do ASM serviu-se dos seguintes artefatos:

- Um modelo ontológico da anatomia ósseo-craniana desenvolvido no âmbito do projeto IACVIRTUAL, com algumas adaptações;
- Um *Framework* multi-agentes baseado no modelo E-MATHEMA, desenvolvido pela equipe do Prof. Dr. Evandro Costa, da Universidade Federal de Alagoas (UFAL), com algumas adaptações;
- O modelo ontológico da anatomia humana FMA, da Universidade de Washington;
- Uma biblioteca de modelos anatômicos 3D<sup>22</sup>.

<sup>22</sup> Comercializada pela Cacheforce Computing Ltd. / 3DSpecial: <http://www.anatomium.com/>

- Modelo 3D da estrutura ósseo-craniana cedida pela Profa. Dra. Marta Becker Villamil, docente da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) (VILLAMIL, NEDEL e FREITAS, 2005).
- Como a maioria das soluções destinadas ao projeto IACVIRTUAL foram desenvolvidas em ambientes voltados para tecnologia JAVA, o STI proposto neste trabalho também foi desenvolvido utilizando essa tecnologia;
- Biblioteca de tratamento gráfico e háptico 3D, CHAI3D, disponibilizada pelo grupo de RV Universidade de Stanford;
- O ambiente RV desenvolvido para o projeto IACVIRTUAL foi implementado em C++, encapsulando a biblioteca gráfica OpenGL, que por sua vez foi integrada à tecnologia *ActiveX* para ser importada em páginas *html*;
- Como foi necessário integrar a tecnologia JAVA do STI com a tecnologia *ActiveX* do ambiente RV, foi desenvolvida uma *TagLib JSF (Java Server Faces)* para exportar o código de geração do contexto *html* em páginas *Web*;
- Foi desenvolvida uma interface de comunicação com a infra-estrutura de acesso para a ontologia com o objetivo de repassar a semântica de aprendizado do STI para o ambiente de RV;
- O ambiente de RV é responsável pela visualização, navegação e interação com as estruturas anatômicas 3D modeladas, além de apresentar a sintaxe de aprendizado modelada pelo especialista da saúde;
- Por fim, o ambiente foi disponibilizado e avaliado por um conjunto de estudantes da área da Saúde e por um especialista da área em estudo.

A ferramenta de desenvolvimento a ser utilizada:

- Ambiente C++ *Builder* 6.0 para construção do ambiente de RV;
- Ambiente *NetBeans* 5.5 para desenvolvimento do STI;
- Banco de dados MySQL versão 5.0;
- Ambiente *Protégé* 3.3.1 para modelagem ontológica;
- Plataforma 3DMAX 7.0 para modelagem tridimensional;
- *Microsoft Office* 2000 para construção da documentação.

### 3.5.3 Restrições

Como o STI construído foi baseado em tecnologia e infra-estrutura *Web* em plataforma proprietária (*ActiveX*, da *Microsoft*), e o ambiente de RV necessita de hardware de processamento gráfico, o seguinte conjunto de requisitos mínimos a ser utilizado é requerido:

- Computador com 500 MHz de processamento, 512 de memória RAM e 20 GB de HD;
- Placa gráfica com 32 MB de memória de vídeo;
- Sistema Operacional *Windows* 2000 ou XP, com acesso a Internet;
- *Browser Internet Explorer* para execução de bibliotecas *ActiveX*.

## 4. RESULTADOS

### 4.1 Protótipo de validação da arquitetura

Para que o objetivo geral deste trabalho fosse atingido, a arquitetura proposta foi desenvolvida, buscando garantir a integração das diversas tecnologias adotadas (Figura 37).

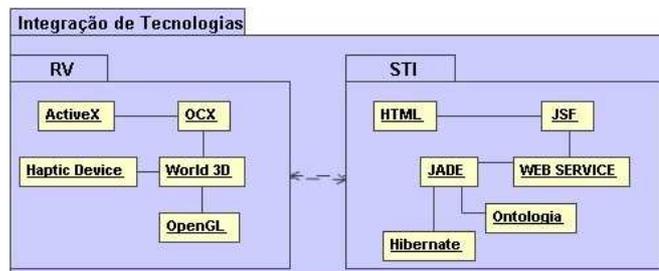


Figura 37 – Tecnologias integrada no ASM

Fonte: o autor

O Ambiente de Simulação Médica via *Web* (ASM-WEB-TUTOR), que representa a versão *Web* da arquitetura proposta, pode ser acessado pelo endereço <http://200.199.205.50:8080/ASM-WEB-TUTOR/>, onde o aprendiz tem acesso à página inicial do protótipo, onde está disponível: (i) o vídeo de suporte ao uso do sistema, (ii) *download* das bibliotecas a serem registradas pelo aprendiz, (iii) informações gerais, (iv) *login* e (v) cadastro do sistema. Antes de realizar o *login* no protótipo, o aprendiz deverá instalar um conjunto de bibliotecas que estão disponíveis na página de acesso ao ASM-WEB-TUTOR, a fim de registrar o ambiente de RV via OCX. Como o ambiente virtual do ASM-WEB-TUTOR é baseado na tecnologia da *Microsoft* para a emulação de janelas gráficas no *browser*, o mesmo somente poderá ser ativado no *browser Internet Explorer* e o sistema operacional deverá ser obrigatoriamente uma das versões disponibilizadas pela *Microsoft*. Outro ponto importante consiste na possibilidade do aprendiz poder escolher a versão do sistema em português ou inglês. A Figura 38 apresenta a página *Web* atual de acesso ao sistema.

Após autenticação, o aprendiz terá acesso à página principal do ASM-WEB-TUTOR, sendo detalhado o nome, instituição, perfil e *e-mail* do aprendiz, identificados no canto superior do *browser*. Nesse mesmo local, é possível ao aprendiz acessar uma lista, identificada pelo título de domínio do conhecimento. O sistema, inicialmente, seleciona, importa a ontologia (hierarquia, relacionamentos, conteúdos e atributos de cada contexto de um domínio escolhido: Anatomia Humana, no caso aqui tratado) e apresenta sua estrutura hierárquica.



Figura 38 - Interface de acesso ao ASM-WEB-TUTOR

Fonte: o autor

Cada elemento da estrutura pode ser selecionado por um *click* de *mouse*. O aprendiz poderá navegar *verticalmente* e *horizontalmente* sobre o domínio do conhecimento (Figura 39). O acesso vertical permite transitar entre diferentes domínios (de Anatomia para Fisiologia, por exemplo) e o acesso horizontal permite transitar entre as classes de um mesmo domínio (de Sistema Esquelético e para Sistema Circulatório, por exemplo).



**Figura 39** – Formas de navegação no conteúdo do sistema: (i) vertical e (ii) horizontal

**Fonte:** o autor

Após a seleção de um contexto na árvore do conhecimento, o sistema busca na ontologia o conteúdo modelado sobre o contexto da seleção e, quando existentes, os exercícios relacionados, os elementos de RV e as imagens 2D (Figura 40). O ambiente virtual do ASM-WEB-TUTOR será devidamente configurado com os atributos representados na ontologia, por exemplo, o objeto 3D a ser apresentado, parte da estrutura 3D a ser detalhada, diretivas de posição de câmeras, luminosidade e cor do ambiente 3D. Existindo o relacionamento com a RV, serão verificados os métodos de interação e visualização da estrutura anatômica 3D, isto é, interfaces hápticas ou não hápticas, visão 3D ou 2D, respectivamente.

Um melhor detalhamento dos ícones e opções disponibilizadas na janela principal do tutor podem ser observadas no Quadro 4.

**Ambiente de Simulação Médica - Windows Internet Explorer**

Live Search

Local intranet

14:00

NetBeans IDE 5.5.1

Microsoft Word - Jair...

Caixa de entrada - Mi...

ASM-WEB

Usuário: Jairo Simão  
 Instituição: Universidade Católica de Brasília  
 Perfil: Aluno  
 Email: jairossm@yahoo.com.br

**Conteúdo**

[O crânio é o esqueleto da cabeça; vários ossos formam suas duas partes, o neurocrânio e o esqueleto da face. O neurocrânio (calvária) fornece um invólucro para o cérebro e as meninges encefálicas, partes proximais dos nervos cranianos e vasos sanguíneos. O termo crânio é algumas vezes restrito ao crânio sem a mandíbula. Ele possui um teto semelhante a uma abóbada (calvária) e um assoalho ou base do crânio que é composta pelo etmóide e partes do occipital e do temporal. O esqueleto da face consiste em ossos que circundam a boca e o nariz e contribuem para as órbitas.]

São 29 ossos constituindo o neurocrânio e o esqueleto da face, 11 são pares. Com exceção da mandíbula e de três pequenos ossos da cavidade da orelha média, quando somos adultos, estes estão unidos firmemente por articulações imóveis chamadas suturas. Durante a infância, alguns ossos são unidos por cartilagem hialina (sincondroses) entre os ossos occipital e etmóide, possibilitando certos movimentos com os ossos, o que permite que o crânio, durante o nascimento, se estreite e se expanda a seguir, sem prejuízo ao encéfalo. Os ossos da calvária (abóbada craniana) recobrem parcialmente uns aos outros quando o indivíduo fica sujeito à pressão do canal do parto. Em alguns pontos dessas suturas, ainda permanecem áreas membranosas fibrosas por até 18 meses após o parto. Estas partes moles do crânio são chamados de "fontanela", conhecidas popularmente como moleiras.

O neurocrânio (calvária) nos adultos é constituído por quatro pares de ossos, sendo dois parietais e dois temporais, e quatro ímpares (únicos): o frontal, o etmóide, o esfenoide e o occipital.]

**Hierarquia do Conhecimento**

- Domínio do Conhecimento
  - AnatomiaCranioNovo.owl
    - Domínio do Conhecimento
      - Anatomia\_Humana
        - Sistema\_Circulatório
        - Sistema\_Digestivo
        - Sistema\_Endócrino
        - Sistema\_Esquelético
          - Osteologia
            - Anatomia
              - Esqueleto\_Apendicular
                - Esqueleto\_Axial
                  - Coluna\_Vertebral
                    - Crânio
                      - Esfenoide
                      - Esqueleto\_Face
                      - Etmóide
                      - Face\_Crânio
                      - Forames\_e\_Fossas
                      - Frontal
                      - Occipital
                      - Parietal
                      - Temporal
                      - Zigomático

**Ambiente 3D**

Domínio

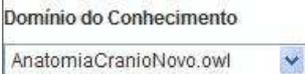
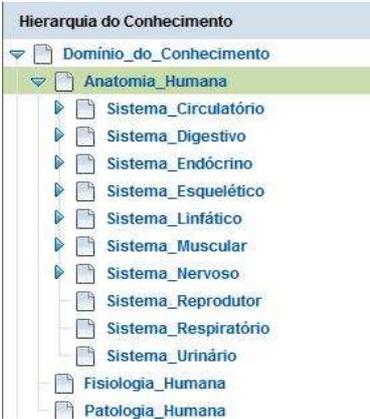
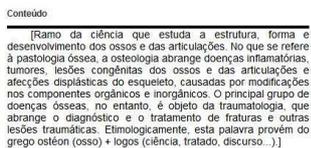
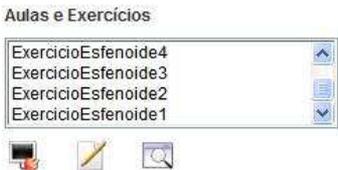
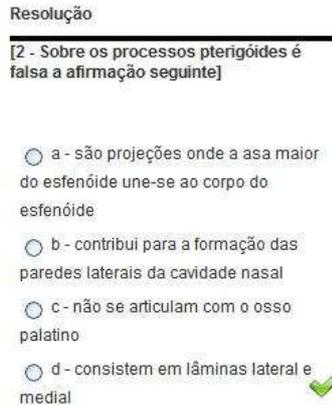
  - Anatomia
  - Patologia
  - Fisiologia

**Ambiente 2D**

Ossos frontais  
 Osose olonoides  
 Osose etmoides  
 Osose nasais  
 Osose lacrimais  
 Maxilas

Figura 40 – Interface de navegação do STI para a RV

Fonte: o autor

| Componentes do ASM   | Identificação Gráfica   | Componentes do ASM                                     | Identificação Gráfica   |
|--|---|--|---|
| Ontologia a ser carregada  |    | Importar ontologia                                     |    |
| Atualizar informações na ontologia   |    | Buscar informações no conhecimento importado           |    |
| Hierarquia do Conhecimento   |    | Conteúdo textual elaborado pelo especialista           |    |
| Separação da estrutura selecionada   |    | Interface de realidade virtual do ASM                  |    |
| Translação automática da estrutura 3D  |  | Movimento de deslocamento da estrutura                 |    |
| Ativar interface háptica   |  | Movimento de rotação da estrutura 3D                   |  |
| Conjunto de exercícios modelados pelo especialista sobre a estrutura selecionada |  | Ativar interface 3D de Visão Completa e Visão Reduzida |  |
|  |   | Resolução da questão selecionada                       |  |

**Quadro 4 – Detalhamento dos componentes do ASM**

Fonte: o autor

Caso o aprendiz queira testar seus conhecimentos, este poderá executar um conjunto de exercícios previamente definidos por especialistas sobre o conteúdo selecionado, buscando validar o conhecimento adquirido durante a interação com o ASM-WEB-TUTOR (Figura 41). Os exercícios são definidos em uma estrutura de apenas uma resposta, podendo ser selecionada e confirmada pelo sistema, garantindo a integridade no processo, correções e interpretação das respostas. Dentro desse escopo será fornecida ao aprendiz a opção de solicitar a correção dos exercícios realizados. Isto incorre na situação de validar o conteúdo repassado pelo ASM-WEB-TUTOR, podendo solicitar possíveis dicas de resolução do exercício (Figura 42).

Antes da correção, o aprendiz tem acesso a uma lista de exercícios e às suas respectivas respostas fornecidas pelo aprendiz, possibilitando o acompanhamento da evolução do seu aprendizado. Após a solicitação da correção, o campo de avaliação será preenchido com OK ou ERRO, possibilitando que o aprendiz solicite uma dica ao sistema.

Neste trabalho, não foram implantados os mecanismos de adaptação de navegação do conteúdo em função dos erros cometidos. Por não fazer parte do escopo principal deste trabalho, em sua versão atual, erros nos exercícios provocam apenas a disponibilização de dicas indicando um conjunto de referências de estudo. Contudo, este requisito poderia ser atendido pelo ASM-WEB-TUTOR pela integração de módulos responsáveis pela avaliação de comportamento (por meio de mecanismos de diagnóstico inteligente) e pelas ações de adaptação decorrentes.

Há ainda a possibilidade de integração do sistema com outros tipos de ambientes virtuais, como o ambiente de visualização, navegação e interação do conteúdo para o domínio da anatomia humana para fins de simulação de procedimentos cirúrgicos. Tal módulo já foi desenvolvido<sup>23</sup> e integrado ao protótipo deste trabalho, possibilitando separar virtualmente partes das estruturas anatômicas a partir da seleção com a interface háptica, conforme mostrado na Figura 43. Note que o osso frontal foi retirado do crânio e transportado para uma área secundária, onde é possível estudar esse osso de maneira isolada e num contexto cirúrgico.

---

<sup>23</sup> Desenvolvido no âmbito do Projeto IACVIRTUAL financiado pela FINEP em conjunto com a Universidade Católica de Brasília (UCB) e Universidade Federal de Alagoas (UFAL) com o objetivo de construir um STI destinado ao ensino da anatomia humana no período de 2005 a 2007.

Tem uma forma complexa, com um corpo central, de onde se projetam as asas menores, as asas maiores e os processos pterigóides. A superfície anterior das asas maiores forma a maior parte das paredes posteriores das órbitas.

Os canais ópticos, localizados nas bases das asas menores, permitem a passagem dos nervos ópticos dos olhos para a base do encéfalo. A superfície superior do corpo do osso estenoide contém uma depressão profunda chamada sela turca, na qual a glândula hipófise fica alojada, limita-se posteriormente por uma saliência óssea chamada dorso da sela. Na espessura do mesmo estão enterrados os seios esfenoidais.]

**Aulas e Exercícios**

- ExercícioEstenoide5
- ExercícioEstenoide2**
- ExercícioEstenoide1

**Resolução**

[2 - Sobre os processos pterigóides é falsa a afirmação seguinte]

- a - são projeções onde a asa maior do estenoide une-se ao corpo do estenoide
- b - contribui para a formação das paredes laterais da cavidade nasal
- c - não se articulam com o osso palatino
- d - consistem em lâminas lateral e medial

**Domínio do Conhecimento**

- Anatomia\_Humana
  - Sistema\_Circulatório
  - Sistema\_Digestivo
  - Sistema\_Endócrino
  - Sistema\_Esquelético
    - Osteologia
      - AsaMenor
      - AsaMaior
      - Corpo
      - ProcessoPterigoide
      - SelaTurca
      - Esqueleto\_Face
        - Esqueleto
        - Forames\_e\_Fossas
        - Frontal
        - Occipital
        - Parietal
        - Temporal
        - Zigomático
      - Torax
    - Embriologia
    - Histologia
    - Sistema\_Linfático
    - Sistema\_Muscular
- Esqueleto\_Apendicular
- Esqueleto\_Axial
  - Coluna\_Vertebral
  - Crânio
    - Estenoide**

**Figura 41** - Resolução de exercícios dentro do STI

**Fonte:** o autor

Usuário: Jairo Simao  
 Instituição: Universidade Católica de Brasília  
 Perfil: Aluno  
 Email: jairossm@yahoo.com.br

**ASM-WEB**

Dicas  
 a - Preste atenção! Não estamos falando de neonatos. Volte ao texto e relembre as articulações dos ossos da porção anterior do crânio adulto (Ossos - FRONTAL)

| classe    | exercicio           | resposta   | gabarito  | avaliacao dica |
|-----------|---------------------|--|---|----------------|
| Esfenoide | ExercicioEsfenoide4 | c - é composta de duas partes: dorso da sela e fossa hipofisal | d - é circundada pelos processos clinóides anterior e posterior | ERR ?-0        |
| Esfenoide | ExercicioEsfenoide3 | b - comporta a artéria e a veia oftálmica                      | c - comporta o nervo óptico e artéria oftálmica                 | ERR ?-1        |
| Esfenoide | ExercicioEsfenoide3 |  | c - comporta o nervo óptico e artéria oftálmica                 | ERR ?-2        |
| Esfenoide | ExercicioEsfenoide6 | c - Processo Pterigóide  | a - Lâmina Perpendicular  | ERR ?-3        |
| Frontal   | ExercicioFrontal1   | c - Sutura Sagital   | d - Sutura Coronal  | ERR ?-4        |
| Frontal   | ExercicioFrontal2   | b - Occipital  | a - Parentais   | ERR ?-5        |
| Frontal   | ExercicioFrontal3   | a - Seios Frontais   | b - Glabella  | ERR ?-6        |
| Frontal   | ExercicioFrontal5   | c - Sutura Metópica  | b - Sutura Mediana  | ERR ?-7        |

Figura 42 – Resolução de exercícios e verificação das dicas

Fonte: o autor

**ASM-WEB**

Usuário: Jairo Simao  
 Instituição: Universidade Católica de Brasília  
 Perfil: Aluno  
 Email: jairossm@yahoo.com.br

**ASM-WEB**

**Estrutura 3D Principal**

**Mesh**

**Informações**

Descricao -> Frontale: Um osso impar que forma a regio anterior-superior do cranio. Este osso comeca seu desenvolvimento como dois ossos separados que se encontram na linha mediana formando a sutura metopica que geralmente nao e mais visivel no adulto. O osso frontal forma a fronte ("testa") e o teto das cavidades orbitarias. Acidentes anatomicos -> No interior do osso No interior do osso, logo acima da juncao com os seios nasais, encontram-se os ossos frontais: glabella -> e uma area lisa localizada entre as duas orbitas, logo acima do nariz. Forames -> No osso frontal, encontram-se o forame cego, vela emissaria para o seio sagital superior, e o forame supra-orbital. Articulacoes com outros ossos ->

Informações Simulação  
 Janela Ativa: Panel1  
 Número Triangulos: 40935  
 Número de Vertices: 29441  
 Nome-Arquivo 3D: cranio.3ds  
 Mesh Seleccionada: Frontal  
 Nº de Mesh: 136

**Lista de Estruturas 3D**  
 Frontal

**Lista de Câmeras**  
 camera-0  
 Pos-X  
 Pos-Y  
 Pos-Z  
 camera-1

**Objeto Control**  
 ObjetoWire  
 EixoCoordenadas  
 EixoNormal  
 BoundingBox

**Ambiente Control**  
 Luz  
 Som  
 Camera  
 START

**Op 3D**  
 DivMesh

**Haptic Control**  
 PhantomDevice  
 STOP

Done  
 Local Intranet  
 http://localhost:8084/...  
 Microsoft Word - Jai...  
 NetBeans IDE 5.5 - A...  
 Protobip04 - Paint  
 16:39

Figura 43 - Inclusão do protótipo de simulação de procedimentos cirúrgicos

Fonte: o autor

## 4.2 Validação

O processo de validação do protótipo e da arquitetura proposta por este trabalho teve apoio de professores e um grupo de 120 estudantes da área da Saúde da UCB e da Universidade de Brasília (UnB), distribuídos conforme mostrado no Quadro 5. Como são cursos com características distintas, dividiu-se a validação em dois grupos com propósitos distintos. O Grupo A ficou responsável pela validação da arquitetura/tecnologia e foi formado pelos alunos de Medicina de ambas as instituições. O grupo B foi utilizado para a validação do conceito/conteúdo e era formado por alunos de Enfermagem e Biomedicina, sendo que esses estavam sob a responsabilidade do mesmo professor e tiveram a mesma forma de avaliação. Os estudantes de Biomedicina tiveram acesso ao sistema, enquanto que os de Enfermagem tiveram apenas o ensino convencional, sem acesso ao sistema tutor. O objetivo foi verificar se a utilização do sistema tutor acarretaria algum ganho de desempenho de aprendizagem.

| Grupo | Universidade de Brasília (UnB) |                      | Universidade Católica de Brasília (UCB) |                      |
|-------|--------------------------------|----------------------|---|----------------------|
|       | Curso                          | Número de estudantes | Curso                                   | Número de estudantes |
| A     | Medicina                       | 30                   | Medicina                                | 30                   |
| B     |                                |                      | Enfermagem<br>Biomedicina               | 30<br>30             |

**Quadro 5** – Distribuição da validação do sistema

Fonte: o autor

Essa validação buscou avaliar a pertinência dos seguintes pontos:

- possibilidade do aprendiz acessar em qualquer lugar que possua uma conexão com a *Internet* e um *browser*, um STI destinado ao ensino da anatomia humana, com conteúdo previamente modelado por especialista e com a possibilidade de visualização de estruturas anatômicas em um ambiente 3D;
- a visualização 3D de estruturas anatômicas captadas a partir de tomografias e ressonâncias magnéticas, buscando um elevado grau de detalhe das estruturas internas e os diversos relacionamentos com as estruturas ao seu redor;
- possibilidade de interação com a estrutura 3D a partir de interfaces hápticas, realçando as características físicas como texturas, pressões e atritos;
- possibilidade do aprendiz acessar um conteúdo formalizado por especialista de maneira bidirecional, isto é, tanto pelo STI quanto pela RV;

- possibilidade de comparação da estrutura anatômica no ambiente 2D e da estrutura no ambiente 3D;
- possibilidade do aprendiz questionar outras características da estrutura 3D;
- possibilidade de simulação de procedimentos cirúrgicos.

Para o protótipo ASM-WEB-TUTOR, um questionário foi acoplado ao sistema (Quadro 6), possibilitando uma avaliação do sistema em tempo real e *on-line*. As perguntas foram elaboradas com o intuito de validar os objetivos definidos para este trabalho, delimitando objetivos específicos sobre cada questionamento (Quadro 7).

|  |   |  |
|--|---|--|
|                             | <b>Universidade Católica de Brasília – UCB</b><br>Mestrado em Gestão do Conhecimento e da Tecnologia da Informação - MGCTI<br>Campus II, SGAN 916, Módulo B, Sala A 207<br>Asa Norte, 70790-160 Brasília – DF, Brasil |  |
| <b>A pesquisa faz parte de uma dissertação que está sendo desenvolvida no MGCTI.</b>                         |   |  |
| <b>Questionário de Avaliação do Protótipo: Ambiente de Simulação Médica - ASM</b>                            |   |  |
| <b>Perfil</b>  |   |  |
| <b>Curso:</b> _____  | <b>Semestre:</b> _____  |  |
| <b>Instituição:</b> _____  | <b>Titulação:</b> _____   |  |
| <b>Usabilidade</b>   |   |  |
| Como você classifica seu conhecimento em anatomia?   | ☞ Ruim ☞ Razoável ☞ Bom ☞ Ótimo   |  |
| Quando você acessou o sistema, o mesmo estava disponível, com todas as funcionalidades?                      | ☞ Sim ☞ Não   |  |
| O acesso ao sistema pela Internet facilita a disseminação do conhecimento na área da saúde?                  | ☞ Sim ☞ Não   |  |
| A instalação do sistema foi difícil?   | ☞ Sim ☞ Não   |  |
| O <i>design</i> (Aspecto Visual) do sistema está apropriado?   | ☞ Sim ☞ Não   |  |
| <b>Conteúdo</b>  |   |  |
| As funcionalidades do sistema facilitaram a interação com o conteúdo?  | ☞ Sim ☞ Não   |  |
| O conteúdo está de acordo com o que é apresentado nas aulas de anatomia?                                     | ☞ Sim ☞ Não   |  |
| <b>Realidade Virtual</b>   |   |  |
| A realidade virtual contribuiu para o aprendizado sobre estruturas anatômicas?                               | ☞ Sim ☞ Não   |  |
| Como você classifica a qualidade das estruturas anatômicas 3D disponibilizadas?                              | ☞ Ruim ☞ Razoável ☞ Bom ☞ Ótimo   |  |
| A forma de interação e navegação 3D está apropriada?   | ☞ Sim ☞ Não   |  |
| Você conhece dispositivos háptico (Interfaces de Contato), isto é, braços cirúrgicos?                        | ☞ Sim ☞ Não   |  |
| Você gostaria de aprender sobre procedimento cirúrgicos pela Internet?                                       | ☞ Sim ☞ Não   |  |
| Você acha que o uso da Realidade Virtual foi o diferencial neste sistema de ensino?                          | ☞ Sim ☞ Não   |  |
| <b>Sistema para Ensino</b>   |   |  |
| De que forma o sistema atendeu suas expectativas em relação a uma ferramenta de apoio ao ensino de anatomia? | ☞ Ruim ☞ Razoável ☞ Bom ☞ Ótimo   |  |
| Que classificação você daria para o sistema?   | ☞ Ruim ☞ Razoável ☞ Bom ☞ Ótimo   |  |
| Outras Considerações/Sugestões?  | _____   |  |
|  | _____   |  |

**Quadro 6 - Questionário de validação do ASM**

**Fonte:** o autor

| Questionamento   | Objetivos Específicos  |
|--|--|
| Curso? Semestre? Instituição? Titulação?   | As seguintes informações buscam identificar o perfil do aprendiz ou especialista que está consultando o sistema, buscando estabelecer uma relação entre o tipo de conteúdo consultado no sistema e o que é ministrado de maneira convencional. |
| Como você classifica seu conhecimento em anatomia?   | Este questionamento busca verificar o grau de conhecimento do aprendiz ou especialista antes do contato com o sistema.   |
| Quando você acessou o sistema, o mesmo estava disponível, com todas as funcionalidades?                      | Este questionamento busca verificar se o aprendiz ou especialista conseguiu acessar o sistema e se este estava com todas as opções habilitadas.  |
| O acesso ao sistema pela Internet facilita a disseminação do conhecimento na área da saúde?                  | Busca verificar se o fato do sistema estar disponível em ambiente <i>Web</i> contribuiu de alguma forma para o acesso e a disseminação do conhecimento, ou se este deveria estar disponível localmente, isto é instalado de forma individual.  |
| A instalação do sistema foi difícil?   | Busca verificar se a forma encontrada para a instalação das bibliotecas do ambiente virtual é de fácil entendimento ou se precisa de melhoria.   |
| O <i>design</i> (Aspecto Visual) do sistema está apropriado?   | Buscar verificar se o <i>layout</i> , imagens, botões e fundos de tela simplificaram o acesso à informação e contribuíram para a ergonomia do sistema.   |
| As funcionalidades do sistema facilitaram a interação com o conteúdo?  | Busca verificar se a interface está disposta de maneira a simplificar o entendimento, por exemplo, exercícios próximos ao conteúdo apresentado, a RV próxima à realidade estática.   |
| O conteúdo está de acordo com o que é apresentado nas aulas de anatomia?                                     | Busca verificar se existe divergência em relação ao conteúdo ministrado nas aulas de anatomia e o formalizado pelo especialista.   |
| A RV contribuiu para o aprendizado sobre estruturas anatômicas?  | Busca verificar a eficiência do uso da RV na compreensão das estruturas anatômicas 3D.   |
| Como você classifica a qualidade das estruturas anatômicas 3D disponibilizadas?                              | Busca verificar se as estruturas captadas por tomografias e ressonância magnéticas possibilitam a geração de modelos 3D com boa qualidade de entendimento.   |
| A forma de interação e navegação 3D está apropriada?   | Busca verificar se a adoção do mouse e das ferramentas desenvolvidas para o ASM, contribuíram para o entendimento/interação das estruturas anatômicas 3D.  |
| Você conhece dispositivos hápticos (Interfaces de Contato), isto é, braços cirúrgicos?                       | Busca verificar se o aprendiz ou especialista já tiveram algum contato com braços robóticos.   |
| Você gostaria de aprender sobre procedimentos cirúrgicos pela <i>Internet</i> ?                              | Busca verificar se o aprendiz ou especialista tem interesse de realizar treinamento de procedimentos médicos pela <i>internet</i> .  |
| Você acha que o uso da RV foi o diferencial neste sistema de ensino?   | Busca verificar se os requisitos propostos e identificados foram atendidos da melhor forma possível.   |
| De que forma o sistema atendeu suas expectativas em relação a uma ferramenta de apoio ao ensino de anatomia? | Busca verificar se alguma forma o ASM-WEB-TUTOR contribuiu para o aprimoramento do conhecimento do aprendiz sobre anatomia humana.   |
| Que classificação você daria para o sistema?   | Busca analisar de maneira geral a classificação do sistema.  |
| Outras Considerações/Sugestões?  | Busca registrar as considerações   |

**Quadro 7** – Objetivos específicos dos questionamentos

**Fonte:** o autor

### 4.3 Análise dos resultados

Por meio de observações no decorrer da experimentação, pequenos problemas operacionais foram solucionados à medida que foram detectados. Estes problemas referiam-se à estabilidade do sistema em um ambiente multi-usuários com diferentes tipos de sistemas operacionais, capacidade de gerenciamento do servidor remoto, armazenamento e recuperação de arquivos, localização e visualização das estruturas 3D. Estas correções constituíram novas versões do tutor, possibilitando o uso com mais estabilidade e precisão.

Os resultados obtidos são apresentados na forma consolidada ou reunidos de acordo com os grupos dos aprendizes. Como se trata de uma amostra representativa de respostas em relação ao vislumbrado como requisito de validação do trabalho, configurando-se um percentual de resposta em torno de 76 % do grupo A e 51% do grupo B. Sendo uma pesquisa quantitativa, é possível inferir que os resultados indicam algo mais que indícios e eventuais tendências, como podem ser observados nos quadros e nas análises realizadas a seguir.

Em relação ao Grupo A, as respostas estão consolidadas no Quadro 8.

| Análise das Resposta das Questões de Carater Bolleano                                    | Sim | Não |
|--|-----|-----|
| Quando você acessou o sistema, o mesmo estava disponível, com todas as funcionalidades ? | 28  | 18  |
| O acesso ao sistema pela Internet simplifica a disseminação na área da saúde ?           | 41  | 5   |
| A instalação do sistema foi difícil?   | 29  | 17  |
| O design (Aspecto Visual) do sistema está apropriado?                                    | 27  | 19  |
| As funcionalidades do sistema facilitaram a interação com o conteúdo?                    | 30  | 16  |
| O conteúdo está de acordo com o que é apresentado nas aulas de anatomia?                 | 29  | 17  |
| A realidade virtual contribuiu para o aprendizado das estruturas ?                       | 36  | 10  |
| A forma de interação e navegação 3D está apropriada ?                                    | 29  | 17  |
| Você conhece dispositivos háptico (Interfaces de Contato), isto é, braços cirúrgicos?    | 31  | 15  |
| Você gostaria de aprender sobre procedimento cirúrgicos pela Internet?                   | 29  | 17  |
| Você acha que o uso da Realidade Virtual foi o diferencial neste sistema de ensino?      | 29  | 17  |
| Você conseguiu evoluir seu conhecimento anatomia após o uso do ASM-WEB-TUTOR?            | 24  | 22  |

|   |
|---|
| Total de Alunos de Medicina que efetivamente responderam = 46 |
|---|

**Quadro 8** - Respostas do Grupo A

**Fonte:** o autor

Buscando analisar os resultados da pesquisa com o foco que foi atribuído ao Grupo A, isto é, avaliar a tecnologia e a arquitetura empregados no protótipo ASM-WEB-TUTOR, é possível observar, de acordo com o questionário, que todos os propósitos foram alcançados, tais como:

- uso da tecnologia *Web* para disseminação do conhecimento na área médica, representou 86% das respostas;
  - facilidade de entendimento das estruturas anatômicas humanas, a partir da RV, correspondeu a 78% das respostas;
  - possibilidade de ensino de procedimentos médicos pela *internet*, representou 63% das respostas;
  - integração de interfaces hápticas para melhor compreensão das estruturas 3D, representou 67% das respostas;
  - ergonomia do ambiente de RV, representou 63% das respostas;
- As perguntas de caráter multi-valorado respondidas pelo Grupo A, foram consolidadas no Quadro 9, buscando quantificar as respostas sobre cada nível definido.

| Análise das Resposta de Multipla Escolha   | Possíveis Respotas |          |     |       |
|--|--------------------|----------|-----|-------|
|  | Ruim               | Razoavel | Bom | Ótimo |
| Como você classifica a qualidade das estruturas anatômicas 3D disponibilizadas?                              | 0                  | 9        | 26  | 11    |
| De que forma o sistema atendeu suas expectativas em relação a uma ferramenta de apoio ao ensino de anatomia? | 0                  | 14       | 22  | 10    |
| Que classificação você daria para o sistema ?  | 0                  | 21       | 16  | 9     |

**Quadro 9** – Consolidado das respostas múltipla escolha do grupo A

**Fonte:** o autor

Buscando analisar o comportamento das respostas de múltipla escolha, é possível observar as seguintes conclusões:

- 56% dos aprendizes consideraram que as estruturas em 3D modeladas possuem boas definições;
- 47% dos aprendizes consideraram que o tutor contribuiu como ferramenta de ensino;
- 34% dos aprendizes consideraram o tutor de boa qualidade.

Em relação ao grupo B, a configuração das respostas foram consolidadas no Quadro 10. Contudo, o propósito inicial destinado ao grupo B não foi seguido, o qual seria analisado o uso do tutor no curso de Biomedicina e o não uso no curso de Enfermagem, buscando evidenciar melhorias no processo de ensino da disciplina de anatomia humana. Por conseguinte, em detrimento de diversas dificuldades no processo de divulgação, o tutor foi divulgado nos dois cursos.

| Análise das Resposta das Questões de Carater Bolleano                                    | Sim | Não |
|--|-----|-----|
| Quando você acessou o sistema, o mesmo estava disponível, com todas as funcionalidades ? | 20  | 11  |
| O acesso ao sistema pela Internet simplifica a disseminação na área da saúde ?           | 18  | 13  |
| A instalação do sistema foi difícil?   | 16  | 15  |
| O design (Aspecto Visual) do sistema está apropriado?                                    | 19  | 12  |
| As funcionalidades do sistema facilitaram a interação com o conteúdo?                    | 21  | 10  |
| O conteúdo está de acordo com o que é apresentado nas aulas de anatomia?                 | 21  | 10  |
| A realidade virtual contribuiu para o aprendizado das estruturas ?                       | 19  | 12  |
| A forma de interação e navegação 3D está apropriada ?                                    | 18  | 13  |
| Você conhece dispositivos háptico (Interfaces de Contato), isto é, braços cirúrgicos?    | 19  | 12  |
| Você gostaria de aprender sobre procedimento cirúrgicos pela Internet?                   | 21  | 10  |
| Você acha que o uso da Realidade Virtual foi o diferencial neste sistema de ensino?      | 21  | 10  |
| Você conseguiu evoluir seu conhecimento anatomia após o uso do ASM-WEB-TUTOR?            | 19  | 12  |

|   |
|---|
| Total de Alunos de Medicina que efetivamente responderam = 31 |
|---|

#### Quadro 10 - Respostas do Grupo B

Fonte: o autor

Buscando analisar os resultados da pesquisa com o foco que foi atribuído ao Grupo B, isto é, avaliar o conceito e o conteúdo empregados no protótipo ASM-WEB-TUTOR, foi possível observar, de acordo com o questionário, que todos os propósitos foram alcançados, tais como:

- 67% dos aprendizes consideraram o conteúdo modelado e formalizado pelo ASM-WEB-TUTOR similar ao ministrado nas aulas anatomia;
- 67% dos aprendizes também consideraram que as funcionalidades empregadas no sistema, entre elas a RV e realidade estática, contribuíram para o entendimento da anatomia humana.

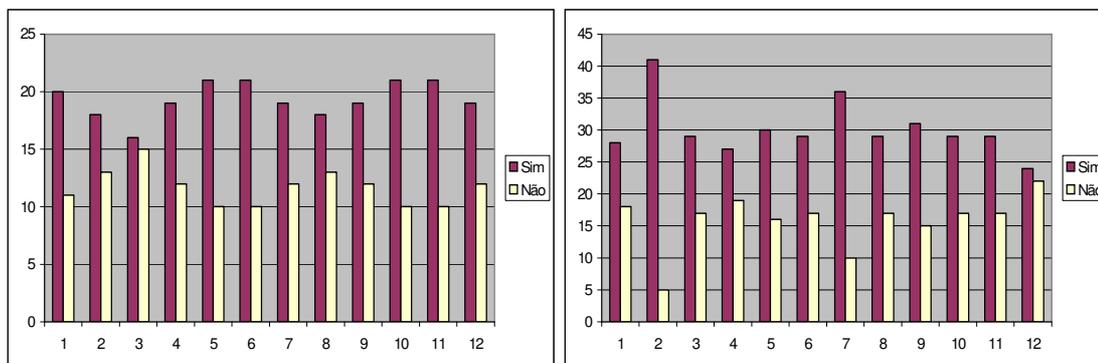
As perguntas de caráter multi-valorado respondidas pelo Grupo B, foram consolidadas no Quadro 11, buscando quantificar as respostas sobre cada nível definido.

| Análise das Resposta de Multipla Escolha   | Possíveis Respotas |          |     |       |
|--|--------------------|----------|-----|-------|
|  | Ruim               | Razoavel | Bom | Ótimo |
| Como você classifica a qualidade das estruturas anatômicas 3D disponibilizadas?                              | 0                  | 16       | 12  | 5     |
| De que forma o sistema atendeu suas expectativas em relação a uma ferramenta de apoio ao ensino de anatomia? | 0                  | 18       | 10  | 3     |
| Que classificação você daria para o sistema ?  | 0                  | 13       | 17  | 1     |

#### Quadro 11 - Consolidado das respostas múltipla escolha do grupo B

Fonte: o autor

Em decorrência das análises das respostas do grupo A e B, a proposta de integração de RV e STI baseando-se em todos os requisitos determinados para este trabalho, apresentou-se viável, como pode ser observada no gráfico, onde conjunto de respostas positivas foi sempre superior ao grupo de respostas negativas (Figura 44).



**Figura 44** – Gráficos comparativo das respostas (I) grupo A e (II) grupo B

**Fonte:** o autor

A partir das avaliações foi possível traçar alguns pontos de melhoria do protótipo ASM-WEB-TUTOR.

- Tanto o Grupo A quanto o Grupo B consideraram uma solução de boa qualidade para o ensino da anatomia humana. Entretanto, o *design* web do tutor precisa ainda ser reavaliado.
- O uso de interfaces hápticas em ambientes de simulação como este, precisam ser melhor difundidos e aprimorados, pois esta tecnologia não é convencional no meio médico.
- O tutor deve tornar-se, no futuro, um real objeto de ensino, baseando-se, por exemplo, em análise de perfil segundo a interação com o ambiente.

#### 4.4 Publicações

Este trabalho gerou, até o presente momento, as seguintes publicações:

- Eventos voltados para comunidades científicas interessadas em RV
  - BALANIUK, R., COSTA, I., F., MELO, J. Cosmetic Breast Surgery Simulation. In: SYMPOSIUM ON VIRTUAL REALITY, 7., 2006, Belém. **Anais...** Belém: NCE/CESUPA, 2006.
  - MELO, J., BALANIUK, R., BRASIL, L. Ambiente de Realidade Virtual para Visualização de Objetos Tridimensionais Aplicados à Área Médica. In: SYMPOSIUM ON VIRTUAL REALITY, WORKSHOP DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA EM REALIDADE VIRTUAL, 7., 2006, Belém. **Anais...** Belém:

NCE/CESUPA, 2006.

- MELO, J., BALANIUK, R.; BRASIL, L. Ambiente de Simulação Médica para Web. In: SYMPOSIUM ON VIRTUAL REALITY, 8., 2007, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: NCE/IME, 2007.
- Eventos voltados para comunidades científicas interessadas na Informática em Saúde
  - MELO, J., BALANIUK, R., BRASIL, L. Training of Medical Procedures in an WEB Environment of Virtual Reality. In: WORLD CONGRESS ON MEDICAL PHYSICS AND BIOMEDICAL ENGINEERING, 2006, Seoul, Coréia. **Anais...** Seoul:Springlink, 2006.
  - MELO, J., ABREU, C., BRASIL, L., BALANIUK, R. Ambiente Web Para Visualização, Navegação E Interação De Estruturas Anatômicas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA BIOMÉDICA, 20., 2006, São Pedro. **Anais...** São Pedro: INCOR, 2006.
  - BALANIUK, R., COSTA, I. F., MELO, J. 3D Dynamic Simulation of the Breast. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE QUALIDADE DE SOFTWARE, WORKSHOP DE INFORMÁTICA MÉDICA, 7., 2007, Porto de Galinhas. **Anais...** Porto de Galinhas:Proqualiti , 2007.
- Eventos e obras voltados para comunidades científicas interessadas em Informática na Educação
  - BITTENCOURT, I et. al. Um sistema tutor baseado em agentes no domínio da Medicina. In: WORKSHOP DE INFORMÁTICA NA EDUCAÇÃO, 8., 2007, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro:IME, 2007.
  - MELO, J., BALANIUK, R., FERNEDA, E., BRASIL, L., ROCHA, L., COSTA, E., BITTENCOURT, I. Uso da realidade virtual em sistemas tutores inteligentes destinados ao ensino da Anatomia Humana. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE INFORMÁTICA NA EDUCAÇÃO, 18., 2007, São Paulo. **Anais...** São Paulo:Mackenzie, 2007
  - BITTENCOURT, I., COSTA, E. B., FONSECA, B., MAIA, G. MELO, J., FERNEDA, E., SILVA, A. P. B., BRASIL, L. M. **Constructing Intelligent Tutoring Systems based on a Multiagent Architecture**, In: Patrícia A. Jaques; Rosa Vicari; Regina Verdin (Org.), Agent-Based Tutoring Systems by Cognitive and Affective Modeling, Idea Publishing Inc. (*no prelo*).

## 5. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

### 5.1 Conclusões

Neste trabalho, foi apresentado e discutido um modelo de arquitetura para a integração de ambientes de RV e STI destinados ao ensino da anatomia humana. A literatura mostra algumas iniciativas nesse sentido para o ensino na área da Saúde, e em particular no ensino de morfologia anatômica. Todavia, não foi identificado nenhum trabalho dessa natureza para ambiente *Web* e que integrasse interfaces hápticas. Além disso, introduziu-se, nesse contexto, formalização do conhecimento baseada em ontologias, visualização baseada em objetos anatômicos reais e repasse de semântica de aprendizado entre STI e RV e vice-versa.

Diversas foram as contribuições deste trabalho. O uso de ontologias possibilitou a padronização da nomenclatura específica da área médica, contribuindo assim para o processo de GC nessa área. A integração de ambientes de RV a STI possibilitou, numa perspectiva de ensino-aprendizagem, visualizar, navegar e interagir com estruturas anatômicas 3D modeladas a partir de estruturas reais oriundas de tomografias. A inclusão de interfaces hápticas possibilitou a disponibilização de um mecanismo de interação baseado em contato suprimindo as necessidades da área médica. Com o repasse de semântica de aprendizado para o ambiente de RV, o aprendiz pode escolher o caminho de aprendizado mais conveniente (do STI para RV ou do RV para STI).

Nesse sentido, o protótipo ASM-WEB-TUTOR, construído para representar a arquitetura descrita no corpo desse projeto, buscou se servir de tecnologias de ponta para melhor representar o estudo: (i) o *framework* CHAI3D, para construção de ambientes virtuais baseando em OpenGL e adaptação de interfaces de contato, (ii) o robô *Phantom Sensable*, para simulação de contato em estruturas anatômicas 3D, (iii) a tecnologia ActiveX, para incorporação do ambiente de RV em páginas *Web*, (iv) a tecnologia JAVA, para modelagem do STI, (v) a linguagem C++, para construção da *engine* de processamento 3D, (vi) a tecnologia de *Web Services*, para a simplificação na disponibilização de serviços na Internet, (vii) a arquitetura multi-agente proposta pelo E-MATHEMA, para acesso ao conhecimento, e (viii) a API do PROTÉGÉ, para tratamento das informações formalizadas na ontologia.

O ASM-WEB-TUTOR, já integrado ao projeto IACVIRTUAL, poderá ser utilizado por aprendizes e profissionais da área médica. Contudo, a partir da arquitetura desenvolvida neste trabalho, é possível conceber qualquer STI em ambiente *Web* que necessite do uso da

RV no processo de ensino-aprendizagem. Para isso, é preciso (i) formalizar e associar o conhecimento do novo domínio, (ii) construir os modelos 3D, (iii) associar os modelos à ontologia, (iv) configurar a melhor forma de interação, navegação e visualização do aprendiz com o objeto 3D e, o mais importante, (v) definir o processo de aprendizagem, que não foi foco deste trabalho.

## 5.2 Trabalhos futuros

A literatura vem abordando de maneira entusiasta há algum tempo o conceito de objeto de aprendizagem. Este conceito contempla a o uso de tecnologias como agente de mudança dos atuais paradigmas educacionais tais como: inteligência artificial, realidade virtual, multimídia, hipermídia e internet. Entretanto para que paradigmas sejam quebrados, é necessário o uso de estratégia pedagógica que direcione o uso de tais tecnologias (SCHEER, et. al, 2004). O sistema ASM-WEB-TUTOR proposto neste trabalho não contempla o uso de estratégias pedagógicas, entretanto pode-se introduzir este conceito com o auxílio de profissionais de pedagogia e pequenas alterações no sistema, adequando à navegabilidade e design do sistema, tornando as interações mais produtivas a partir da análise do perfil do aprendiz (CURILEM, 2002).

Vislumbra-se o aprimoramento do sistema ASM-WEB-TUTOR pela disponibilização de um ambiente para a simulação de procedimentos cirúrgicos em ambiente *Web*, de forma a possibilitar profissionais da saúde que tenham prerrogativas e atribuições para a execução de tais procedimentos, possam simular, treinar e serem instruídos por um sistema que tenha sido previamente configurado por um especialista. Para que isso se viabilize, deve-se abordar problemas tais como: objetos virtuais deformáveis, para a simulação em estruturas maleáveis, elementos finitos, para a simulação líquidos internos, e tecnologias de áudio (MORRIS, SEWELL e BLEVINS, 2004).

Para estudos futuros, deve ser considerado ainda o expandir da ontologia utilizada neste projeto, concluindo nela os demais sistemas da anatomia humana, ou seja, os sistemas circulatório, digestivo, endócrino, linfático, muscular e nervoso, além de estreitar o relacionamento da Anatomia com a Fisiologia e a Patologia. Para isso, é necessário conceber uma arquitetura de 3D que evidencie estruturas dinâmicas tais como os batimentos cardíacos e as patologias baseadas na disfunção desses movimentos.

Está em cogitação o desenvolvimento de um sistema de ensino-aprendizagem para procedimentos cirúrgicos como a Punção Aspirativa por Agulha Fina (PAFF), destinada aos exames do tecido mamário, com o objetivo de diagnosticar possíveis tecidos cancerígenos.

## REFERÊNCIA

ACKERMAN, P. L. **A Theory of intellectul development: process, personality, interests and knowledge**. Intelligence, v.22, p.227-257, 1996.

ANDRADE, L. et al. Jogos inteligentes são educacionais?. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE INFORMÁTICA NA EDUCAÇÃO, 14., 2003, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: NCE/UFRJ, 2003. p.699-709.

ARAÚJO, R. B. **Especificação e análise de um sistema distribuído de realidade virtual**. 1996. 193f. Tese (Doutorado em Computação) – Faculdade de Tecnologia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

AUKSTAKALNIS, S. D. **Silicon mirage: the art and science of virtual reality**. Ed. Peachpit Pr, Berkeley, CA, 1992.

AXER, H. et al. **Fussy sets in human anatomy**. Artificial Intelligence in Medicine, v.21, p.147-152, 2001.

AZEVEDO, B. F. T., TAVARES O. L. **Um sistema tutor inteligente para suporte à aprendizagem de conceitos de orientação a objetos**. 1998. 141f. Dissertação (Mestrado em Computação) – Faculdade de Tecnologia, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 1998.

AZEVEDO, F. M., FERNANDES, L. S., DETERS, J. I. Agente pedagógico para ensino da fisiologia. In: CONGRESSO SUL CATARINENSE DE COMPUTAÇÃO, 3., 1999, Santa Catarina. **Anais...** Santa Catarina: NCE/UNESC, 1999.

BALANIUK, R., COSTA, I. F., MELO, J. S. S. Cosmetic breast surgery simulation. In: SYMPOSIUM ON VIRTUAL REALITY, 8., 2006, Belém. **Anais...** Belém: NCE/UFGA, 2006.

BERTOLETTI, A.C., MORAES, M.C., COSTA, A.C.R. Avaliação do módulo de aprendizagem do museu virtual SAGRES quanto a usabilidade de um software educacional. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE INFORMÁTICA NA EDUCAÇÃO, 12., 2001, Vitória. **Anais...** Vitória: NCE/UFES, 2001.

BEZIVIN, J., LEMESLE, R. Ontology-based Layered Semantics for Precise OA&D Modeling. In: WORKSHOP ON PRECISE SEMANTICS FOR OBJECT-ORIENTED MODELING TECHNIQUES, 1., 1997, Finland. **Proceedings ...** Local: FIN/Finland, 1997.

BITTENCOURT, I. S. P. **Plataforma para construção de ambientes interativos de aprendizagem baseados em agentes**. 2006. 133f. Dissertação (Mestrado em Computação) – Faculdade de Tecnologia, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2006.

BITTENCOURT, G. A. **Customizable tool for the generation of production-based systems**. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLICATIONS OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN ENGINEERING, 8., 1993, USA. **Proceedings....** Local: USA/Elsevier Applied Science, 1993.

BLOOM, B. S. et. al. **Manual de avaliação formativa e somativa do aprendizado escolar**. São Paulo: Pioneira, 1983.

BRADSHA, W. **An introduction to software agents**. Software Agents, ed. Bradshaw, J. M. Menlo Park, Calif.: AAAI Press, v.490, p.262-272, 1997.

CARBONELL, J. R. **AI in CAI: an artificial intelligence approach to computer assisted instruction**. IEEE transactions on man machine systems, v.11, n.4, p.190–202, 1970.

CONTI, F. **The CHAI libraries**. Project of Computer Science Department, Stanford University, 2006.

COSTA, E. B. **Um modelo de ambiente interativo de aprendizagem baseado numa arquitetura multi-agentes**. 1997. 204f. Tese (Doutorado em Computação) – Faculdade de Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 1997.

CURILEM, G. J. M. S. **Metodologia para a construção de interfaces adaptáveis em sistemas tutores inteligentes**. 2002. 185f. Tese (Doutorado em Computação) – Faculdade de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

DAMERON O. R., MUSEN, M. **Challenges in converting frame-based ontology into owl: the foundational model of anatomy case-study**. American Medical Informatics Association Fall, p.181-185, Washington DC, 2005.

DAVENPORT, T. **Ecologia da informação**. São Paulo: Futura, 1998.

D'AMICO, C., VICCARI, R., ALVAREZ, L. A framework for teaching and learning environments. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE INFORMÁTICA NA EDUCAÇÃO, 7., 1997, São Jose dos Campos. **Anais...** São José dos Campos: NCE/USP, 1997.

DREISEITL, S., OHNO, O. L. Logistic regression and artificial neural network classification models. **Journal of Biomedical Informatics**, v.35, p.352-359, 2003.

FEIGENBAUM, J. L. A. **Hemachandra: on generating solved instances of computational problems**. p.297-310, 1988.

FENSEL, M. **Special issue on semantic web technology**. IEEE Intelligent Systems (IEEE IS), n.16, 2001.

FERREIRA, R. **A internet como ambiente da educação à distância na formação continuada de professores**. 2002. 147f. Dissertação (Mestrado em Computação) – Faculdade de Tecnologia, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiaba, 2002.

FOWLER, D. G. A. Model for designing intelligent tutoring systems. **Journal of Medical Systems**, v.15, n.1, 1991.

FREEMAN, R. **What is an intelligent tutoring system?**. Intelligence, p.15-16, 2000.

GIBSON, W. **Neuromancer**. New York, ACE Books, 1984.

GRUBER, T. R. **A translation approach to portable ontology specification**. Knowledge Acquisition. v.5, n.2, p.199-220, 1993.

GUARINO, N. Formal Ontology in Information Systems. In: INTERNATIONAL CONFERENCE, 1., 1998, Trento. **Proceedings ...** Local: Italy/Treto Uni, v.46, 1998.

HANCOCK, D. **Viewpoint: virtual reality in search of middle ground.** IEEE Spectrum, v.32, n.68, January, 1995.

HAND, C. **Other faces of virtual reality.** In: INTERNATIONAL CONFERENCE LECTURE NOTES IN COMPUTER SCIENCE, 1., 1994, Moscow. **Proceedings ...** Local: Ed. Springer, 1994.

HASMAN, A. Education and health informatics. **International Journal of Medical Informatic**, v. 52, p.209-216, 1998.

HEINZEN, R. P. S. **Modelo de ambiente virtual para a aprendizagem de neuroanatomia.**: 2004. 210f. Tese (Doutorado em Computação) – Faculdade de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

HENDRICK, H. Adaptation, development and application of tools and methods for macroergonomics field research. In: WORKSHOP OF DESIGNING FOR EVERYONE, 1., 1991, London. **Proceedings...** Local: UK, 1991.

JACOBSON, L. **Realidade virtual em casa.** Rio de Janeiro, Berkeley, 1994.

JENNINGS, N. R., WOLLDRIDGE, M. **Applications of intelligent agents.** Queen Mary e Westfield, Londres, UK, 1998.

KASSIRER, J. P. **Diagnostic reasoning.** Annals of Internal Medicine, v.110, p.893-900, 1989.

KRAFZIG, D., BANKE, K. **Enterprise SOA: service-oriented architecture best practices.** 1.ed. Estados Unidos da América: Prentice Hall, 2004.

KRUEGER, M. W., GIONFRIDDO, T. **Videoplace - an artificial reality.** IEEE Computer Graphics & Applications, San Francisco, pp. 35-40, 1985.

LATTA, J. N. D. J. **A conceptual virtual reality model.** IEEE Computer Graphics & Applications, p. 23-29, Jan., 1994.

LESTON, J. Virtual reality: the it perspective, **Computer Bulletin**, p.12-13, June, 1996.

LETTERIE, G. S. Medical education as a science: the quality of evidence for computer-assisted instruction. **American Journal of Obstetrics & Gynecology**, v.188, p.849-853, 2003.

LUGER, G. F. **Artificial intelligence, structures and strategies for complex problem solving.** Third Edition, Addison Wesley Longman, MA. U.S.A., p.430-456, 1998.

MACHADO, L. S. **Conceitos básicos da realidade virtual.** INPE-5975- PUD/025, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos/SP, novembro, 1995.

MARIETTO, M., OMAR N.; FERNANDES, C. Tendências nas áreas de sistemas de tutoria inteligente e modelagem do aprendiz. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE INFORMÁTICA NA EDUCAÇÃO, 7., 1997, São José dos Campos, Brasil. **Anais...** São José dos Campos: NCE/USP, 1997.

MCARTHUR, D., LEWIS, M. e BISHAY, M. **The roles of artificial intelligence in education: current progress and future prospects**. First Edition, Rand Corporation, Santa Monica, U.S.A, 1993.

MCCALLA, G. The fragmentation old culture, learning, teaching and technology - implication for the artificial intelligence in education research agenda in 2010. **International Journal of Artificial Intelligence in Education**, v.11, p.177–196, 2000.

MCTEAR, M. **Intelligent interface technology: from theory to reality?**. Interacting with Computers v.12, n.4, p.323-336, 2000.

MIRISOLA, L. G. B., LANGONE, F. **Ensinando neuroanatomia com o computador**. informática médica. v.2, n.1, janeiro 1999.

MITCHELL, T. **Machine learning**. McGr McGraw-Hill Higher Education, 1997.

MORESI, E. A. D. **Gestão da informação e do conhecimento**. TARAPANOFF, K. (Ed): Inteligência Organizacional e Competitiva, Universidade de Brasília, 2001.

MORESI, E. A. D. **Manual de metodologia da pesquisa**. Brasília-DF, Universidade Católica de Brasília, 2003.

MORRIS, D., SEWELL, C., BLEVINS, A. **Collaborative virtual environment for the simulation of temporal bone surgery**. Robotics Laboratory Gates Building 1A Stanford CA 94305-9010, USA, 2004.

NONAKA, I., TAKEUCHI, H. **Criação de conhecimento na empresa**. Rio de Janeiro: Campus, 1997.

NOVELLO, T. C. **Ontologias, Sistemas baseados em conhecimento e modelos de banco de dados**. 2002. 163f. Dissertação (Mestrado em Computação) – Faculdade de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

ORGUN, B., VU, J. **HLontology and mobile agents for interoperability in heterogeneous medical information systems**. Computers in Biology and Medicine, v.36, n.7–8, p.817–836B, 2005.

PUPPE, F., REINHARDT, B., POEK, K. **Generated critic in the knowledge based neurology trainer**, Artificial Intelligence in Medicine (AIME-95), 1995.

RIMASSA, G. **Runtime support for distributed multi-agent systems**. 2003. 202f. Tese (Doutorado em Computação) – Faculdade de Tecnologia, Universidade Degli Studi de Parma, Itália, 2003.

ROJAS, J. et al. Um sistema de diagnóstico em cardiologia. In: Simpósio Brasileiro de Qualidade de Software, Workshop de Informática Médica, 3., 2003, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: NCE/UFRN, 2003.

RUSSELL, S., NORVIG, P. **Artificial intelligence: a modern approach**. prentice hall, New Jersey – EUA, 1995.

SABBATINI, R. M. E. Aplicações do multimídia no ensino médico, **revista informédica**,

v.2, p.5-11, 1994.

SCHEER, S. et at. Objetos educacionais como apoio para uma rede de ensino e aprendizagem em engenharia de estruturas. In: WORLD CONGRESS ON ENGINEERING AND TECHNOLOGY EDUCATION, 2004, Santos. **Anais...** Santos: NCE/COPEC. p.1191-1195, 2004.

SHOHAM, Y. **Agent oriented programming**. Artificial Intelligence, v.60, p.51-92. 1993.

SQUIRES, D., PREECE, J. **Towards a set of usability heuristics in educational software design**. Conference Report. INTERFACES n 35. British HCI Group. Summer, 1997.

STOLLENWERK, M. F. L. **Gestão do conhecimento: conceitos e modelos**. In TARAPANOFF, K. Inteligência Organizacional e Competitiva. Universidade de Brasília, 2001.

SYCARA, K. P. **Multiagent systems**. american association for artificial intelligence, California, United States, 1998.

TEIXEIRA, F. J. **Gerenciando conhecimento**. Rio de Janeiro, Ed. SENAC, 2001.

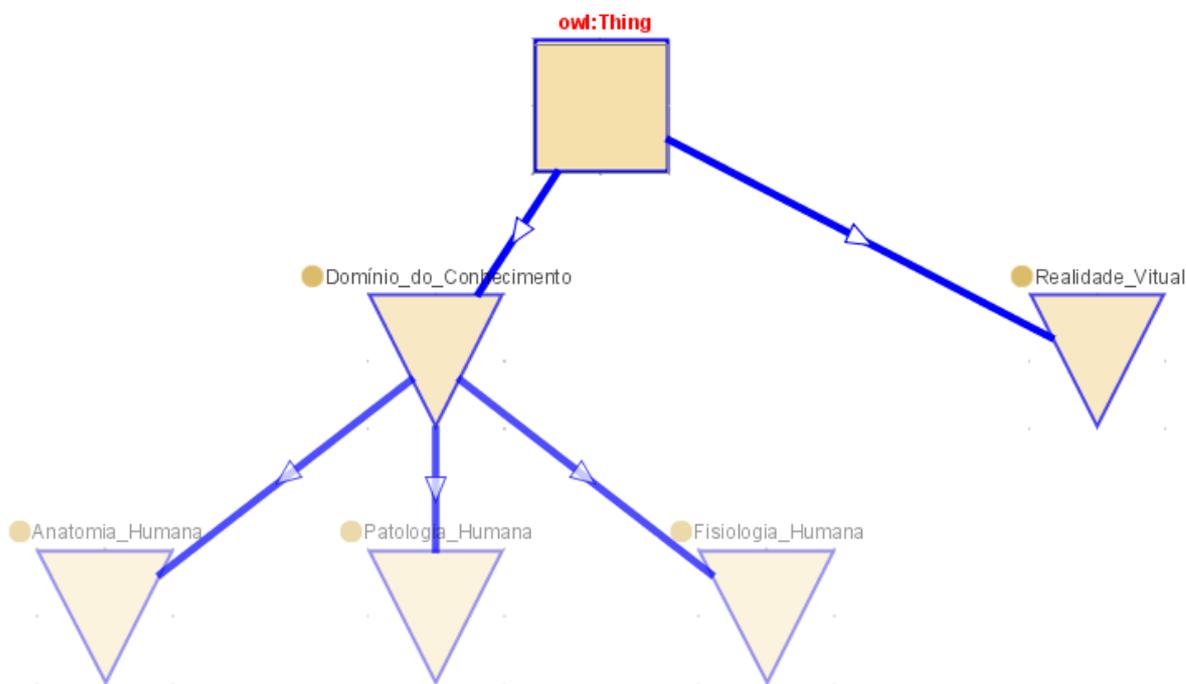
VILLAMIL, M. B., NEDEL, L. P., FREITAS, C. M. Simulação do movimento da mandíbula e comportamento da articulação temporomandibular. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE QUALIDADE DE SOFTWARE, WORKSHOP INFORMATICA MÉDICA, 5., 2005, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: NCE/UFRGS, 2005.

VINCE, J. **Virtual reality systems**. Addison-Wesley, Reading, MA, USA, 1995.

WINSTON, P. H. **Artificial intelligence**. Addison-Wesley Publishing Company, Reading, Massachusetts, 1992.

## ANEXO A – Detalhamento da formalização do conhecimento

1. Classes Principais do modelo ontológico: Realidade Virtual, Anatomia\_Humana, Fisiologia\_Humana, Patologia\_Humana.

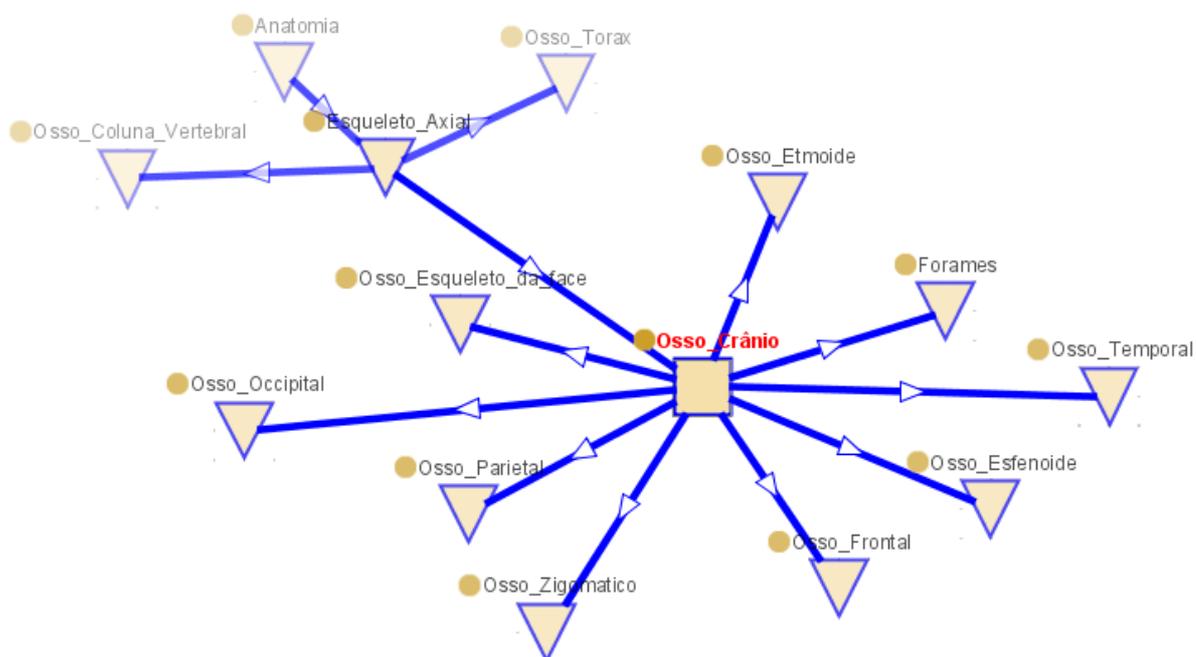


### 1.1 Representação OWL

```

<?xml version="1.0"?>
<rdf:RDF
  xmlns="http://www.owl-ontologies.com/Ontology1201699452.owl#"
  xmlns:rdf="http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#"
  xmlns:xsd="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#"
  xmlns:rdfs="http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#"
  xmlns:owl="http://www.w3.org/2002/07/owl#"
  xml:base="http://www.owl-ontologies.com/Ontology1201699452.owl">
  <owl:Ontology rdf:about=""/>
  <owl:Class rdf:ID="Patologia_Humana">
    <rdfs:subClassOf>
      <owl:Class rdf:ID="Domínio_do_Conhecimento"/>
    </rdfs:subClassOf>
  </owl:Class>
  <owl:Class rdf:ID="Anatomia_Humana">
    <rdfs:subClassOf rdf:resource="#Domínio_do_Conhecimento"/>
  </owl:Class>
  <owl:Class rdf:ID="Fisiologia_Humana">
    <rdfs:subClassOf rdf:resource="#Domínio_do_Conhecimento"/>
  </owl:Class>
  <owl:Class rdf:ID="Realidade_Vitual"/>
</rdf:RDF>
  
```

## 2. Sub-classes principais da formalização da estruturas ósseo-cranianas



### 2.1 Representação OWL

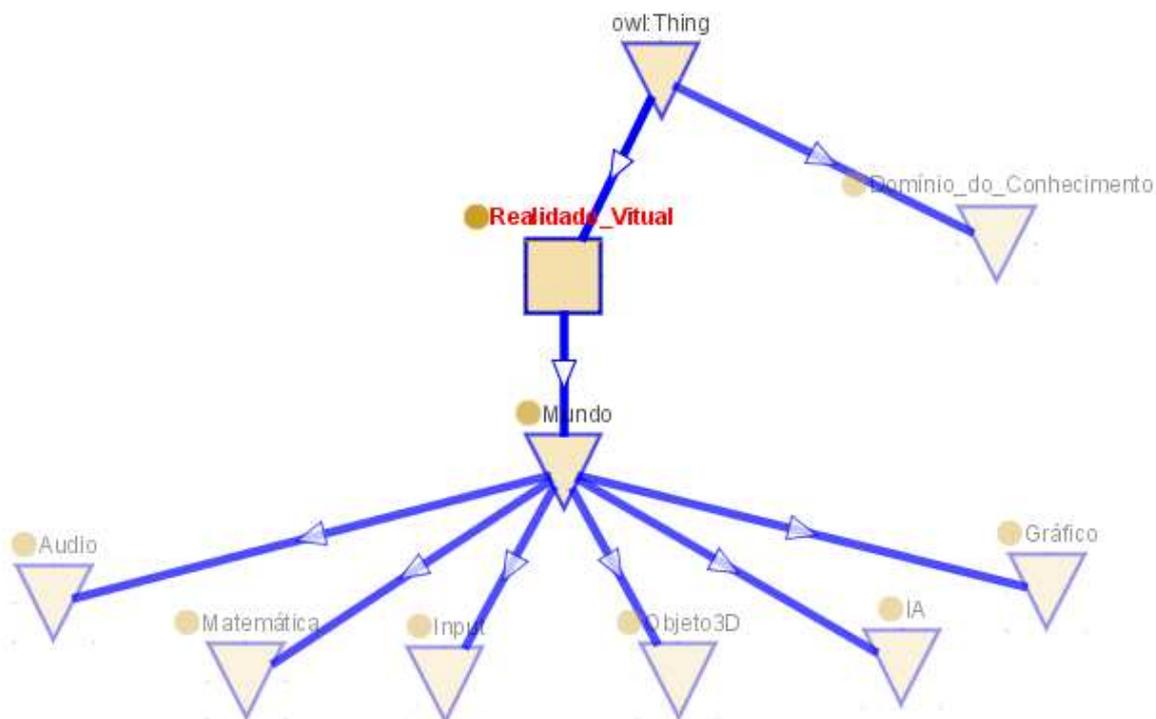
```
<?xml version="1.0"?>
<rdf:RDF
  xmlns="http://www.owl-ontologies.com/Ontology1201699452.owl#"
  xmlns:rdf="http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#"
  xmlns:xsd="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#"
  xmlns:rdfs="http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#"
  xmlns:owl="http://www.w3.org/2002/07/owl#"
  xml:base="http://www.owl-ontologies.com/Ontology1201699452.owl">
  <owl:Ontology rdf:about=""/>
  <owl:Class rdf:ID="Osteologia">
    <rdfs:subClassOf>
      <owl:Class rdf:ID="Sistema_Esqueletico"/>
    </rdfs:subClassOf>
  </owl:Class>
  <owl:Class rdf:ID="Osso_Parietal">
    <rdfs:subClassOf>
      <owl:Class rdf:ID="Osso_Crânio"/>
    </rdfs:subClassOf>
  </owl:Class>
  <owl:Class rdf:ID="Osso_Temporal">
    <rdfs:subClassOf>
      <owl:Class rdf:about="#Osso_Crânio"/>
    </rdfs:subClassOf>
  </owl:Class>
  <owl:Class rdf:ID="Anatomia">
    <rdfs:subClassOf rdf:resource="#Osteologia"/>
  </owl:Class>
  <owl:Class rdf:ID="Esqueleto_Apendicular">
    <rdfs:subClassOf rdf:resource="#Anatomia"/>
  </owl:Class>
  <owl:Class rdf:about="#Osso_Crânio">
    <rdfs:subClassOf>
      <owl:Class rdf:ID="Esqueleto_Axial"/>
    </rdfs:subClassOf>
  </owl:Class>
  </rdf:RDF>
```

```

    </rdfs:subClassOf>
  </owl:Class>
  <owl:Class rdf:about="#Sistema_Esqueletico">
    <rdfs:subClassOf>
      <owl:Class rdf:ID="Anatomia_Humana"/>
    </rdfs:subClassOf>
  </owl:Class>
  <owl:Class rdf:ID="Osso_Frontal">
    <rdfs:subClassOf rdf:resource="#Osso_Crânio"/>
  </owl:Class>
  <owl:Class rdf:ID="Osso_Occipital">
    <rdfs:subClassOf rdf:resource="#Osso_Crânio"/>
  </owl:Class>
  <owl:Class rdf:ID="Osso_Etmoide">
    <rdfs:subClassOf rdf:resource="#Osso_Crânio"/>
  </owl:Class>
  <owl:Class rdf:ID="Osso_Esqueleto_da_face">
    <rdfs:subClassOf rdf:resource="#Osso_Crânio"/>
  </owl:Class>
  <owl:Class rdf:ID="Osso_Zigomatico">
    <rdfs:subClassOf rdf:resource="#Osso_Crânio"/>
  </owl:Class>
  <owl:Class rdf:ID="Osso_Esfenoide">
    <rdfs:subClassOf rdf:resource="#Osso_Crânio"/>
  </owl:Class>
  <owl:Class rdf:ID="Osso_Coluna_Vertebral">
    <rdfs:subClassOf>
      <owl:Class rdf:about="#Esqueleto_Axial"/>
    </rdfs:subClassOf>
  </owl:Class>
  <owl:Class rdf:ID="Patologia_Humana">
    <rdfs:subClassOf>
      <owl:Class rdf:ID="Domínio_do_Conhecimento"/>
    </rdfs:subClassOf>
  </owl:Class>
  <owl:Class rdf:about="#Esqueleto_Axial">
    <rdfs:subClassOf rdf:resource="#Anatomia"/>
  </owl:Class>
  <owl:Class rdf:about="#Anatomia_Humana">
    <rdfs:subClassOf rdf:resource="#Domínio_do_Conhecimento"/>
  </owl:Class>
  <owl:Class rdf:ID="Forames">
    <rdfs:subClassOf rdf:resource="#Osso_Crânio"/>
  </owl:Class>
  <owl:Class rdf:ID="Fisiologia_Humana">
    <rdfs:subClassOf rdf:resource="#Domínio_do_Conhecimento"/>
  </owl:Class>
  <owl:Class rdf:ID="Osso_Torax">
    <rdfs:subClassOf rdf:resource="#Esqueleto_Axial"/>
  </owl:Class>
  <owl:Class rdf:ID="Realidade_Vitual"/>
</rdf:RDF>

```

### 3. Sub-classes principais da formalização da realidade virtual



#### 3.1 Representação OWL

```

<?xml version="1.0"?>
<rdf:RDF
  <owl:Class rdf:ID="Gráfico">
    <rdfs:subClassOf>
      <owl:Class rdf:ID="Mundo"/>
    </rdfs:subClassOf>
  </owl:Class>
  <owl:Class rdf:ID="Domínio_do_Conhecimento"/>
  <owl:Class rdf:about="#Mundo">
    <rdfs:subClassOf>
      <owl:Class rdf:ID="Realidade_Vitual"/>
    </rdfs:subClassOf>
  </owl:Class>
  <owl:Class rdf:ID="Objeto3D">
    <rdfs:subClassOf rdf:resource="#Mundo"/>
  </owl:Class>
  <owl:Class rdf:ID="Input">
    <rdfs:subClassOf rdf:resource="#Mundo"/>
  </owl:Class>
  <owl:Class rdf:ID="Audio">
    <rdfs:subClassOf rdf:resource="#Mundo"/>
  </owl:Class>
  <owl:Class rdf:ID="Matemática">
    <rdfs:subClassOf rdf:resource="#Mundo"/>
  </owl:Class>
  <owl:Class rdf:ID="IA">
    <rdfs:subClassOf rdf:resource="#Mundo"/>
  </owl:Class>
</rdf:RDF>

```

## ANEXO B – Molagem no software protegé

1. Instâncias de individuos com as suas respectivas propriedades definidas no software PROTÉGÉ.

The screenshot displays the Protegé software interface, specifically the Instance Editor for the class 'Esfenoides'. The interface is divided into several panes:

- CLASS BROWSER:** Shows the class hierarchy for 'AnatomiaHumana', including 'owl:Thing', 'Domínio\_do\_Conhecimento', 'Anatomia\_Humana (1)', 'Sistema\_Circulatório', 'Sistema\_Digestivo', 'Sistema\_Endócrino', 'Sistema\_Esquelético (1)', 'Osteologia', 'Anatomia', 'Esqueleto\_Apendicular', 'Esqueleto\_Axial', 'Coluna\_Vertebral (1)', 'Crânio (2)', 'Esfenoides (6)', 'Esqueleto\_Face', 'Etnoide (7)', 'Face\_Crânio', 'Forames\_e\_Fos', 'Frontal (8)', 'Occipital (9)', 'Parietal (8)', 'Temporal (8)', 'Zigomático (2)', and 'Torax (1)'. Other classes like 'Embriologia', 'Histologia', 'Sistema\_Linfático', 'Sistema\_Muscular', 'Sistema\_Nervoso', 'Sistema\_Reprodutor', 'Sistema\_Respiratório', and 'Sistema\_Unitário' are also visible.
- INSTANCE EDITOR:** Shows the instance 'Esfenoides\_Objeto3D'. The properties are organized into a grid with columns for property names and values. The properties include:
  - cameraOpcionalAngulo:** Value: 5°
  - cameraOpcionalOrientação:** Value: 1.0
  - cameraOpcionalOrientação\_X:** Value: 1.0
  - cameraOpcionalOrientação\_Y:** Value: 1.0
  - cameraOpcionalOrientação\_Z:** Value: 1.0
  - hapticalPosicao:** Value: 15
  - hapticalPosicao\_X:** Value: 1.0
  - hapticalPosicao\_Y:** Value: 1.0
  - hapticalPosicao\_Z:** Value: 0.0
  - LuzCor:** Value: 1.0
  - cameraOpcionalPosicao:** Value: 1.0
- CLASS BROWSER (Right):** Shows the class hierarchy for 'Esfenoides', including 'Esfenoides\_image', 'Esfenoides\_Objeto3D', 'ExercicioEsfenoides1', 'ExercicioEsfenoides2', 'ExercicioEsfenoides3', 'ExercicioEsfenoides4', 'ExercicioEsfenoides5', and 'ExercicioEsfenoides6'.
- INSTANCE EDITOR (Right):** Shows the instance 'Esfenoides' with the following properties:
  - meshModelo3DPrincipal:** Value: \modelos\crânio\crânio.3ds
  - meshModelo3DPrincipalIndex:** Value: 15
  - meshModelo3DPrincipalPosicao:** Value: 15
  - meshModelo3DPrincipalPosicao\_X:** Value: 15
  - meshModelo3DPrincipalPosicao\_Y:** Value: 15
  - meshModelo3DPrincipalPosicao\_Z:** Value: 15