

TESE DE DOUTORADO

**ARQUITETURA ORIENTADA A SERVIÇOS
PARA INTEGRAÇÃO DE TECNOLOGIAS
APLICADAS A UM ATLAS TRIDIMENSIONAL
INTERATIVO DA ANATOMIA MAMÁRIA**

Jairo Simão Santana Melo

Brasília, dezembro de 2012

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

FACULDADE DE TECNOLOGIA

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

**ARQUITETURA ORIENTADA A SERVIÇOS PARA INTEGRAÇÃO DE
TECNOLOGIAS APLICADAS A UM ATLAS TRIDIMENSIONAL
INTERATIVO DA ANATOMIA MAMÁRIA**

JAIRO SIMÃO SANTANA MELO

ORIENTADOR: LOURDES MATTOS BRASIL

**TESE DE DOUTORADO EM
ENGENHARIA ELÉTRICA**

PUBLICAÇÃO: PGEA.TD - 064/2012

BRASÍLIA/DF: DEZEMBRO - 2012.

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
Faculdade de Tecnologia

TESE DE DOUTORADO

**ARQUITETURA ORIENTADA A SERVIÇOS
PARA INTEGRAÇÃO DE TECNOLOGIAS
APLICADAS A UM ATLAS TRIDIMENSIONAL
INTERATIVO DA ANATOMIA MAMÁRIA**

Jairo Simão Santana Melo

*Tese submetida ao Departamento de Engenharia
Elétrica como requisito parcial para obtenção
do grau de Doutor em Engenharia Elétrica*

Banca Examinadora

Profa. Dra. Lourdes Mattos Brasil, FGA/UnB _____
Orientador

Profa. Dra. Fátima L. S. Nunes, EACH/USP _____
Examinador externo

Prof. Dr. Ivan Ferreira da Costa, FUP/UnB _____
Examinador interno

Prof. Dr. Ricardo Ramos Fragelli, FGA/UnB _____
Examinador externo

Dra. Janice Magalhães Lamas _____
Examinador externo

FICHA CATALOGRÁFICA

MELO, JAIRO SIMÃO SANTANA

Arquitetura Orientada a Serviços para Integração de Tecnologias Aplicadas a um Atlas Tridimensional Interativo da Anatomia Mamária. [Distrito Federal] 2012
vi, 156p., 210 X 297 mm (ENE/FT/UnB, Doutor, Engenharia Elétrica, 2012).

Tese de Doutorado - Universidade de Brasília.

Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Elétrica.

1. Realidade Virtual

2. Ontologia

3. Sistemas Tutores Inteligentes

4. Arquitetura *Web Service*

I. ENE/FT/UnB

II. Título (série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

MELO, J. S. S. (2012). Arquitetura Orientada a Serviços para Integração de Tecnologias Aplicadas a um Atlas Tridimensional Interativo da Anatomia Mamária. Tese de Doutorado em Engenharia Elétrica, Publicação ENE.TD - 064/2012, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 156p.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Jairo Simão Santana Melo.

TÍTULO DA TESE DE DOUTORADO: Arquitetura Orientada a Serviços para Integração de Tecnologias Aplicadas a um Atlas Tridimensional Interativo da Anatomia Mamária.

GRAU / ANO: Doutor / 2012

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta tese de doutorado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta tese de doutorado pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

Jairo Simão Santana Melo

Qna 26 casa 16

72.110-260 Taguatinga - DF - Brasil.

jairossmunb@gmail.com

Dedicatórias

Dedico esta tese à instituição que é a base da minha vida: minha família.

À minha esposa Rebeca, minha companheira de todas as horas, meu ponto de equilíbrio. Seu carinho, dedicação à família e sua forma positivista de enfrentar as dificuldades da vida, foram incentivos determinantes para eu chegar até aqui.

À minha filha Cecília, minha princesa, pelos momentos de ausência.

A minha mãe Maria de Lourdes, fonte inesgotável de generosidade e compreensão.

A meu pai Jairo, fonte de sinceridade e equilíbrio.

A meus irmãos Jader e Carolina, companheiros de todas as horas.

Jairo Simão Santana Melo

Agradecimentos

De maneira geral gostaria de agradecer a todas as pessoas e instituições que de alguma forma participaram de alguma das etapas para realização deste trabalho.

Agradeço a todos que, de alguma forma, contribuíram para a execução desta tese, em especial:

*À Profa. Dra. **Lourdes Mattos Brasil** que me recebeu com muita atenção em seu grupo de pesquisa desde o mestrado e também pelo apoio incondicional ao longo de todos estes anos.*

*Em especial, quero agradecer aos meus pais **Jairo e Lourdes**, os quais me deram a vida, e a minha esposa **Rebeca** que mantiveram ao meu lado o tempo todo, provendo-me muito carinho, atenção e conselhos nesta jornada.*

*Ao grupo de pesquisa de engenharia biomédica da **Universidade de Brasília (UnB)/Faculdade Gama (FGA)**, do qual faço parte, e que contribuiu com pesquisas e simulações dessa tese, cujos componentes compreendem os alunos **Marcos Ramos, João Cerqueira, Alysson Ranieri, João Machado, Patrycia Klavdianos e Marina Parente**.*

*Ao **Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia (INCT)** que contribuiu financeiramente através do Edital 15/2008 destinado ao Programa de Pesquisa, Formação de Recursos Humanos e de Desenvolvimento e Inovação Tecnológica, Período 2009/2013, com equipamentos para as diversas simulações propostas por este trabalho.*

*Ao Prof. Dr. **Geovany Araújo Borges** pela disponibilização dos equipamentos do Laboratório de Automação e Robótica (LARA) para as simulações.*

*À Profa. Dra. **Fátima L. S. Nunes**, da Universidade de São Paulo (USP) que contribuiu como colaboradora deste trabalho, auxiliando nos aspectos ligados à realidade virtual, simulação de procedimentos cirúrgicos e modelagem 3D.*

*Às Dras. **Janice Magalhães Lamas, Glenda Dowwreing Faustone e Claudia Bottino** especialistas em radiologia da Clínica Janice Lamas Radiologia, que contribuíram com o entendimento e validação em relação às informações da área da saúde, além da Tecnóloga em radiologia **Tâmara Almeida de Moraes**.*

Jairo Simão Santana Melo

RESUMO

A Organização Mundial de Saúde (OMS) apresenta anualmente estatísticas de evolução do câncer para as futuras gerações. Especificamente na mulher, o câncer de mama tem maior incidência. Assim sendo, esta condição merece uma atenção maior não só do Governo Federal e órgãos internacionais, mas principalmente dos centros de pesquisas, universidades e empresas, a fim de desenvolver tecnologias que auxiliem no diagnóstico e treinamento médico. Este trabalho aborda a concepção de uma arquitetura de software que permite a integração entre as áreas de Realidade Virtual (RV), Sistemas Tutores Inteligentes (STI) e Ontologia, tendo como domínio inicial de estudo, o ensino da anatomia da mama feminina em ambiente *Web*, assim como a concepção de ambientes de simulação de procedimentos cirúrgicos do mesmo contexto. Esta integração propõe uma arquitetura que busca auxiliar estudantes da área da saúde no entendimento das estruturas internas e externas da mama em ambiente colaborativo a partir da navegação, visualização e interação do estudante com o conteúdo e do conteúdo com o ambiente tridimensional (3D). O módulo conteúdo é acessível por um módulo de *interface* existente no domínio do STI presente na arquitetura, que auxiliado pelo módulo que avalia o perfil e pelo módulo tutor que processa as interações do estudante, customiza a informação a ser apresentada ao estudante. Neste ponto, o aprendiz pode requisitar os serviços do módulo 3D para visualizar a estrutura selecionada, caso a seleção seja um procedimento de simulação, por exemplo a Core Biopsy assistida por ultrassom destinada a punção de nódulos mamários, foco desse trabalho, a *interface* 3D é customizada para esse fim. Esta arquitetura, além do seu caráter inovador em relação ao modo de integração orientado a serviço, distribuído, modular e multiplataforma, baseados em tecnologias de última geração de comunicação, processamento, padrões de projeto e compilação, também permitiu a representação de uma cena gráfica 3D em um padrão não convencional, no qual instâncias de classe em formato de Ontologias armazenam propriedades e relacionamentos que configuram o ambiente 3D. Este contexto de visualização 3D pré-configurado permite a ativação de diferentes módulos de interação e navegação, entre eles: câmeras, malhas 3D, textura, colisão, deformação, iluminação, semântica e *interfaces* hápticas, sendo este último o mecanismo responsável pela compreensão de detalhes biológicos como dimensões, texturas e propriedades físicas, tais como peso, rigidez e elasticidade. Outro foco do trabalho foi a pesquisa de métodos de deformação híbridos (Físicos e Geométricos) de processamento em tempo real, que agregam maior realismo à simulação. A pesquisa foi submetida a especialistas da área médica, arquitetos de *software* e professores com conhecimentos correlatos a fim de validar o protótipo, diagrama esquemático da arquitetura e metodologia e tecnologias empregadas nos módulos, assim como a comunicação o desempenho e a interação de componentes.

ABSTRACT

The World Health Organisation (WHO) statistics annually presents the evolution of cancer for future generations. Specifically in women, breast cancer has a higher incidence. Therefore, this condition deserves greater attention not only from the Federal Government and international bodies, but mainly from research centers, universities and companies to develop technologies that help in the diagnosis and medical training. This paper discusses the design of a software architecture that allows integration between the fields of Virtual Reality (VR), Intelligent Tutoring Systems (ITS) and Ontology, with the initial domain of study, teaching the anatomy of the female breast in environment Web, and to design simulation environments surgical procedures the same context. This integration presents an architecture that seeks to assist students in the health field in understanding the internal and external structures of the breast in a collaborative environment from navigation, visualization and interaction with student content and content with the environment-dimensional (3D). The module content is accessible by a module interface with existing STI present in the architecture, which aided by the module which evaluates the profile and the tutor module that processes student interactions, customizes the information being presented to the student . At this point, the student can request service module to visualize the 3D structure selected if the selection procedure is a simulation, for example the Core Biopsy Ultrasound-assisted designed to puncture breast lumps, focus of this work, 3D interface is customized for that purpose. This architecture, in addition to its innovative compared to integration mode service-oriented, distributed, and modular platform, based on the latest technologies of communication, processing, compilation and design patterns also allowed graphical representation of a 3D scene in an unconventional pattern in which class instances in format Ontologies store properties and relationships that make up the 3D environment. This context of pre-configured 3D visualization allows the activation of different interaction and navigation modules, including: cameras, 3D meshes, texture, collision, deformation, lighting, semantic and haptic interfaces, the latter being the mechanism responsible for the understanding of biological details such as dimensions, textures and physical properties such as weight, rigidity and elasticity. Another focus of the study was to research methods of deformation hybrids (Physical and Geometrical) processing in real time, that add greater realism to the simulation. The study was submitted to medical experts, architects software and teachers with knowledge related to validate the prototype, schematic diagram of the architecture and methodology and technologies used in the modules, as well as communication, performance and interaction of components.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO	1
1.2	DEFINIÇÃO DO PROBLEMA	1
1.3	OBJETIVO GERAL	3
1.4	APRESENTAÇÃO DO MANUSCRITO	4
2	REFERENCIAL TEÓRICO	5
2.1	PROCESSO DA PESQUISA	5
2.2	ESTUDO DA MAMA	8
2.2.1	ANATOMIA DA MAMA	8
2.2.2	ESTATÍSTICA DE EVOLUÇÃO DO CÂNCER	8
2.2.3	O CÂNCER	9
2.2.4	NEOPLASIAS DA MAMA	11
2.2.5	MÉTODOS DIAGNÓSTICOS E PROCEDIMENTOS MINIMAMENTE INVASIVOS	12
2.3	ONTOLOGIA	15
2.3.1	DEFINIÇÃO	15
2.3.2	MODELAGEM	19
2.3.3	ONTOLOGIAS RELACIONADAS AO DOMÍNIO DA MAMA	21
2.4	SISTEMAS Tutores INTELIGENTES	22
2.4.1	TEORIAS DE APRENDIZAGEM	24
2.4.2	AGREGANDO INTELIGÊNCIA	26
2.4.3	STI CORRELATOS AO ESTUDO DA MAMA	30
2.5	REALIDADE VIRTUAL	32
2.5.1	SIMULADORES DE PROCEDIMENTOS CIRÚRGICOS	33
2.5.2	REQUISITOS TECNOLÓGICOS	37
2.5.3	ARQUITETURAS CORRELATAS DE INTEGRAÇÃO	39
2.5.4	DETECÇÃO DE COLISÃO E DEFORMAÇÃO DE SUPERFÍCIES	42
2.6	ARQUITETURA ORIENTADA A SERVIÇOS	47
2.6.1	SERVIÇOS WEB	48
2.6.2	PROCESSAMENTO DISTRIBUÍDO	51
3	METODOLOGIA	54
3.1	INTRODUÇÃO	54

3.2	CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA	54
3.3	PRESSUPOSTO	54
3.4	COLETA E ANÁLISE DE DADOS.....	55
3.5	DELIMITAÇÃO DO ESTUDO	55
3.6	VALIDAÇÃO DO ESTUDO	55
3.7	ANÁLISE DE RESULTADOS	55
3.8	ESTUDO DE VIABILIDADE	56
3.9	MODELO DA ARQUITETURA.....	57
3.9.1	MÓDULO DE AUTENTICAÇÃO	58
3.9.2	MÓDULO DE CONTEÚDO.....	58
3.9.3	MÓDULO DE RV	60
3.9.4	ARQUITETURA INTEGRADA	64
3.9.5	MÓDULO ALUNO OU PERFIL.....	65
3.9.6	MÓDULO ESPECIALISTA.....	66
3.9.7	MÓDULO TUTOR.....	67
3.9.8	MÓDULO DE <i>Interface</i>	67
4	RESULTADOS EXPERIMENTAIS	69
4.1	INTRODUÇÃO	69
4.2	CONCEPÇÃO DO PROTÓTIPO.....	71
4.2.1	MECANISMO DE COMUNICAÇÃO E PROCESSAMENTO DA ARQUITETURA	71
4.2.2	PROCESSO DE AUTENTICAÇÃO	73
4.2.3	PROCESSAMENTO DA ONTOLOGIA	74
4.2.4	TESTE DE VIABILIDADE DE MIGRAÇÃO.....	75
4.2.5	INTEGRAÇÃO JCHAI3D	78
4.2.6	DETALHAMENTO DO MÓDULO 3D	81
4.2.7	INTEGRAÇÃO JESS	84
4.3	ACESSO AO PROTÓTIPO	85
4.4	VALIDAÇÃO.....	91
4.5	RESULTADOS.....	94
4.6	PUBLICAÇÕES.....	98
4.6.1	PERIÓDICOS.....	98
4.6.2	CAPÍTULO DE LIVROS.....	98
4.6.3	ARTIGOS COMPLETOS: EVENTOS CIENTÍFICOS.....	98
4.6.4	RESUMO DE ARTIGOS: EVENTOS CIENTÍFICOS	98
5	CONCLUSÕES	100
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	103
	COMPLEMENTOS	114
I	APÊNDICE.....	115

I.1	E-MAIL ENVIADO AOS ARQUITETOS DE TI PARA VALIDAÇÃO DA ARQUITETURA	115
I.2	USO DA FERRAMENTA PROTÉGÉ.....	116
II	ANEXOS.....	124
II.1	ESTRUTURAS EXTERNAS DA MAMA FEMININA.....	124
II.2	ESTRUTURAS INTERNAS DA MAMA FEMININA.....	131
II.3	REGRAS DO SHELL ESPECIALISTA.....	136
II.4	MODELAGEM ONTOMAMA.....	137

LISTA DE FIGURAS

2.1	Anatomia do tecido mamário: 1-Parede Torácica, 2-Músculos peitorais, 3-Lobo mamário, 4-Mamilo, 5-Aréola, 6-Ductos lactíferos, 7-Tecido adiposo e 8-Pele [12].....	8
2.2	Estatísticas de evolução do câncer feminino [1].	9
2.3	Carcinomas invasivos mais frequentes da Mama [16].	12
2.4	Imagens para diagnóstico de lesões mamárias [21].	13
2.5	Procedimento Core Biopsy [15].....	14
2.6	Inserção do Conteúdo em Português Definido pelo Especialista na OntoMama [48]. ..	22
2.7	Arquitetura Clássica de um STI baseado em [68].	27
2.8	Exemplificação Regra de Sistema Especialista [71].....	28
2.9	Modelo Básico de Processamento da Rede ICA [74].	29
2.10	Exemplificação de sistema baseado em hipermídia adaptativa [77].	30
2.11	Exemplificação de sistema baseado em ontologias e <i>web service</i> [79].....	31
2.12	Simuladores de Procedimento Cirúrgico Comercializados pela Symbionix [7].....	34
2.13	Simuladores de Procedimento Cirúrgico Comercializados pela Hansen Medical e Sensable [8] [87].	34
2.14	Simuladores de Punção Mamária [98].	35
2.15	Uso da biblioteca SOFA em procedimentos cirúrgicos [101].	37
2.16	Simulação de Rinologia com a biblioteca CHAI3D.....	38
2.17	Uso da biblioteca ViMeT em procedimentos cirúrgicos [103].....	39
2.18	<i>Virtual Reality Facial Contouring Surgery Simulator</i> [105].....	40
2.19	<i>Conceptual Semantic eLearning Portal Architecture</i> [106].....	41
2.20	Arquitetura CHAI3D [102].	41
2.21	Classificação dos modelos de detecção poligonais [114].	43
2.22	Atuação do método <i>Free-Form Deformation</i> em uma superfície 2D [94].	45
2.23	Pseudocódigo do Algoritmo de Deformação Massa Mola [117].....	45
2.24	LEM: <i>Long Element Method</i> [129].....	47
2.25	Arquitetura Básica de <i>Web Services</i> [136].....	50
2.26	AOS e Processamento Distribuído [146].	52
3.1	Modelo da arquitetura.....	57
3.2	Definição de Conteúdo, Classificação, Grupo e Referenciação.....	59
3.3	Ativação do Relacionamento entre os domínios RV e STI.....	60
3.4	Exemplo de indivíduos do tipo Mamilo.	61
3.5	Diagrama de arquitetura do módulo 3D.	62

3.6	Fluxo de deformação Massa-Mola.	63
3.7	Arquitetura proposta por Curilem [74] com adaptações.....	64
3.8	Detalhamento da interação entre os módulos.....	64
3.9	Integração de módulos a arquitetura de Curilem.	65
3.10	Arquitetura de processamento do shell especialista.	66
3.11	Fluxo de Processamento da Arquitetura jASM.	68
4.1	Modelo de Servidor Web e de Aplicação.	69
4.2	Servidor de Simulação disposto no Laboratório de Informática e Saúde (LIS).....	70
4.3	Modelo de Comunicação e Processamento Distribuído.....	71
4.4	Desempenho da linguagem Java em ambientes 3D.	76
4.5	Tabela de converção de tipos JNA.	77
4.6	Camadas de integração jChai3D.	78
4.7	Simulações jChai3D com diferentes <i>interfaces</i> hápticas.....	79
4.8	Ambiente de desenvolvimento Netbeans e jChai3D integrado.....	79
4.9	Interação de Objetos jChai3D.	80
4.10	Configuração JNLP para ativação da aplicação 3D.	82
4.11	<i>Interfaces Hápticas Testadas e Integradas ao Módulo 3D.</i>	82
4.12	Processo de Colisão jChai3D em <i>Windows</i> 32 bits.....	83
4.13	Simulação Complexa com <i>Mesh's</i> e Interface Háptica Virtual.	83
4.14	Interface de Interação Jess [159].	84
4.15	Página inicial do jASM.	86
4.16	Protótipo para configuração do perfil de acesso.....	87
4.17	Disposição do conteúdo e configurações no protótipo.	88
4.18	<i>Instrumentos Cirúrgicos da Core Biopsy.</i>	88
4.19	<i>Ambiente de Simulação de Procedimento Cirúrgico.</i>	89
4.20	Configuração automática da máquina do usuário.	89
4.21	Ativação do Ambiente de Simulação 3D.	90
4.22	Simulação 3D do procedimento <i>Core Biopsy.</i>	90
4.23	Calibrando estruturas internas da mama com as densidades escolhidas.....	93
4.24	Resultados preliminares de teste do simulador.	97
I.1	Email de validação.....	115
I.2	<i>Questionário de validação disposto na ferramenta Google Form.</i>	115
I.3	Exemplo do Domínio a ser formalizado [161].	117
I.4	Definição da URI e Arquitetura XML.	118
I.5	Modelagem de Classes no Protégé e a uso de disjunções de classe.	120
I.6	Modelagem das Propriedades do Objeto, assim como o domínio e escopo.	121
I.7	Modelagem das Data Properties: propriedades de tipos de dados conectam um indivíduo a um valor.....	122
I.8	Instância de Classe	122
II.1	<i>Visualização da Mama e ântero-lateral.</i>	124

II.2	<i>Visualização da Mama</i>	125
II.3	<i>Visualização do Sulco inframamário</i>	125
II.4	<i>Visualização da Mama</i>	126
II.5	<i>Visualização da mama</i>	127
II.6	<i>Visualização da Aréola mamária</i>	128
II.7	<i>Visualização do Tubérculo de Montgomery</i>	129
II.8	<i>Visualização das Glândulas Areolares</i>	130
II.9	<i>Visualização da Glândula mamária</i>	131
II.10	<i>Visualização da glândula mamária</i>	132
II.11	<i>Visualização dos Ductos lactíferos</i>	132
II.12	<i>Visualização dos seios lactíferos</i>	133
II.13	<i>Visualização dos ligamentos suspensores da mama</i>	134
II.14	<i>Visualização do nervos</i>	135
II.15	Regras de avaliação do estilo de aprendizagem[74].....	136
II.16	Regras de avaliação do estilo de aprendizagem[74].....	137
II.17	Domínio do Problema.....	138

LISTA DE TABELAS

2.1	Combinação de Chaves	6
2.2	Trabalhos Selecionados	7
2.3	Comparação de Bibliotecas Gráficas 3D - (0) Biblioteca 3D, (I) Multiplataforma, (II) Recompilação Exigida, (III) API BASE 3D, (IV) Métodos de Colisão, (V) Métodos de Deformação, (VI) Linguagem de Programação, (VII) <i>Hardware</i> Integrados, (VIII) Padrão de Importação de Mesh's, (IX) Processamento Distribuído	39
3.1	Regra 1 - Avalia estilo como Ativo ou Reflexivo	65
4.1	Detalhamento: Configuração do Servidor Web e Servidor de Aplicação/BD	70
4.2	Detalhamento: Configuração do Servidor de Simulação	70
4.3	Estatística de Desempenho jChai3D	81
4.4	Estatística de Desempenho da Biblioteca da Universidade de <i>Stanford</i> - CHAI3D.....	81
4.5	Conjunto de Questões e Objetivos do Questionário	92

LISTA DE SÍMBOLOS

Siglas

AABB	<i>Axis-Aligned Bounding-Box</i>
ACM	<i>Association for Computing Machinery</i>
AFFD	<i>Animated Free-Form Deformation</i>
ASM	Ambiente de Simulação Médica
AOS	Arquitetura Orientada a Serviços
BD	Banco de Dados
BI-RADS	<i>Breast Imaging Reporting and DataSystem</i>
CAI	<i>Computer Assisted Instruction</i>
CORBA	<i>Common Object Request Broker Architecture</i>
EJB	<i>Enterprise Java Bean</i>
ECM	Exame Clínico da Mama
FFD	<i>Free-Form Deformation</i>
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
IAC	<i>Interaction Activation and Competition</i>
IEL	<i>Interactive Learning Environment</i>
INCA	Instituto Nacional do Câncer
INCT	Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia
INRIA	<i>Institut National Recherche Informatique et Automatique</i>
JDK	<i>Java Development Kit</i>
JNA	<i>Java Native Access</i>
JNI	<i>Java Native Interface</i>
JNLP	<i>Java Network Launching Protocol</i>
JPA	<i>Java Persistence Api</i>
JVM	<i>Java Virtual Machine</i>
JTA	<i>Java Transaction Api</i>
LDAP	<i>Lightweight Directory Access Protocol</i>
LNCC	Laboratório Nacional de Computação Científica
LEM	<i>Long Element Method</i>
MCT	Ministério da Ciência e Tecnologia
MI	Minimamente Invasivas
MPC	Marcação Pré-Cirúrgica

MRI	<i>Magnetic Resonance Imaging</i>
OMS	Organização Mundial de Saúde
OpenGL	<i>Open Graphics Library</i>
ORB	<i>Object Request Broker</i>
OWL	<i>Ontology Web Language</i>
PAAF	Punção Aspirativa por Agulha Fina
PAG	Punção por Agulha Grossa
RDF	<i>Resource Description Framework</i>
REST	<i>REpresentational State Tranfer</i>
RNA	Redes Neurais Artificiais
RMI	<i>Remote Method Invocation</i>
RMN	Ressonância Magnética Nuclear
RV	Realidade Virtual
SOAP	<i>Simple Object Access Protocol</i>
SOFA	<i>Simulation Open Framework Architecture</i>
STI	Sistema Tutor Inteligente
TC	Tomografia Computarizada
UDDI	<i>Universal Description, Discovery and Integration</i>
UnB	Universidade de Brasília
USP	Universidade de São Paulo
UNIVEM	Universitário Eurípides de Marília
UnP	Universidade Potiguar
ViMeT	<i>Virtual Medical Training</i>
WSDL	<i>Web Service Definition Language</i>
W3C	<i>World Wide Web Consortium</i>
XML	<i>eXtensible Markup Language</i>

Capítulo 1

Introdução

Este capítulo apresenta a principal motivação do trabalho de pós-graduação. Os objetivos são apresentados visando satisfazer um conjunto de características prescritas para esta tese.

1.1 Contextualização

A Organização Mundial de Saúde (OMS), em 2012, apresentou um dado de grande relevância para as futuras gerações, cerca de 27 milhões de pessoas terão câncer até 2030. Diante dessa previsão, é notável que a doença mereça foco e atenção na busca por melhores práticas de prevenção e cura, uma vez que sua incidência pode abalar o desenvolvimento socioeconômico das nações [1].

Considerando a dimensão e particularidades do Brasil, torna-se imprescindível a consolidação de dados que orientem a visualização da doença no País. Nesse sentido, o Instituto Nacional de Câncer (INCA) disponibiliza anualmente um conjunto de estatísticas de evolução do câncer na população. Especificamente na mulher, o câncer de mama é o de maior destaque, isto é, em média de 53.000 novos casos em 2012 [1]. Nesse sentido, esta condição merece atenção não só do Governo Federal, mas principalmente dos centros de pesquisas, universidades e empresas, a fim de desenvolver tecnologias que auxiliam no diagnóstico e treinamento médico.

1.2 Definição do problema

A anatomia humana é uma das disciplinas básicas no ensino das ciências da saúde, sendo constantemente necessário aos profissionais da saúde consultar livros-texto, o atlas de anatomia e a utilização de cadáveres [2] [3].

Os livros-textos possibilitam consultas e descrevem as estruturas anatômicas e suas inter-relações, referenciando-as, com certa frequência, às 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, com foco nos 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, por meio de inspeção visual e dissecação. Embora essa prática seja a mais informativa para o aprendiz de anatomia, a baixa viabilidade, alto custo, não reprodução de característica do organismo vivo e considerações éticas restringem seu uso [4] [5].

Já os procedimentos cirúrgicos são simulados em cadáveres, cobaias, bonecos de resina e simuladores robóticos para representar situações de pacientes comuns, de modo que as novas tecnologias não substituem os procedimentos convencionais [5]. Por exemplo, durante um procedimento médico realizado no robô simulador, os professores programam as reações e as doenças que podem acometer os seres humanos. Os alunos devem agir diante das situações programadas como choros, gemidos, tremores e até sangue artificial, sendo possível criar situações reais com os seres mecânicos. Caso os procedimentos sejam realizados corretamente, o "robô-paciente" volta ao estado normal. Caso o aluno não obtenha êxito, a situação do "paciente" pode se agravar e levar a morte [6].

Segundo Moura [6], diretor do curso de Ciências Biológicas da Universidade Potiguar (UnP), os novos equipamentos favorecem o aprendizado, porém, é necessário que os alunos continuem utilizando os cadáveres na sua formação, treinando suas habilidades e conhecendo melhor o corpo humano. Moura [6] esclarece que: "[...] A atividade funcionará como uma metodologia intermediária, de transição entre o real e o ficcional".

Além dos robôs simuladores, a Realidade Virtual (RV) tem se mostrado uma opção interessante no ensino de anatomia e na simulação de procedimentos cirúrgicos, 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, na sua maioria, produtos comerciais em plataformas proprietárias como Symbionix (*Simulation to Advance Clinical Performance*) [7] e Hansenmedical [8][3].

A visualização é de fundamental importância no ensino da anatomia humana, já que a educação médica é fortemente orientada por 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 tridimensional (3D), identificação sucinta das extremidades da estrutura anatômica e sensação de imersão em ambiente 3D, têm grande potencial de apoio ao ensino e ao aprendizado médico [3].

No entanto, associadas a essas tecnologias de RV, é preciso integrar os conteúdos textuais que existem nos modelos convencionais de ensino (livros, atlas, ontologias), a fim de tornar um ambiente definitivamente complementar de estudo. Além disso, os profissionais da área médica são unânimes em afirmar a importância do contato tátil 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.

Nesse sentido, o Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Medicina Assistida por Computação Científica (INCT-MACC), órgão do Ministério de Ciência e Tecnologia, em parceria com

algumas universidades brasileiras e outras estrangeiras, tem fomentado um conjunto de projetos interdisciplinares, tendo como objetivo comum atender as necessidades da população e da área médica. Esta tese ressalta o uso de tecnologias que permitem integrar a RV, Ontologias e Sistemas Tutores Inteligentes (STI) em diferentes áreas de ensino, tendo como primeiro passo a simulação do procedimentos minimamente invasivos da mama e o estudo da anatomia mamária.

1.3 Objetivo Geral

Todo procedimento cirúrgico gera consequências que vão desde os dias de internação indesejados até sequelas físicas no paciente. Para minimizar as consequências indesejadas, grande ênfase tem sido atribuída às técnicas Minimamente Invasivas (MI), que consistem em procedimentos cirúrgicos com a mínima invasão no corpo do paciente. Assim, em geral, os orifícios necessários têm tamanho diminuto, na ordem de milímetros ou poucos centímetros [9].

Com a difusão da tecnologia, as técnicas MI vêm sendo aplicadas em uma série de procedimentos, desde exames de biópsia até remoção de estruturas malignas do corpo humano. Em geral, esses procedimentos empregam objetos de pequeno porte (seringas, por exemplo) que são introduzidos no corpo do paciente através de pequenas incisões [9].

Por se tratar de um procedimento que envolve objetos pequenos de difícil manipulação e incisões mínimas, pode haver uma dificuldade geral em relação ao treinamento. Sendo assim, a RV pode ajudar nesse tipo de treinamento, visto que permite a execução do procedimento virtual quantas vezes forem necessárias até que o aluno ou o profissional esteja pronto para praticá-lo em um paciente real [9], além da compreensão textual do procedimento e das estruturas anatômicas.

A tese tem como objetivo geral a construção de uma arquitetura de processamento distribuído para ensino do domínio da anatomia da mama feminina em ambiente *Web* com a simulação do procedimento cirúrgico *Core Biopsy* em ambiente 3D. Como objetivos específicos, têm-se:

- estudo e compreensão das estruturas da mama e do procedimento de punção denominada *Core Biopsy* ou biópsia de fragmento dirigida por ultrassom;
- identificação das necessidades e tecnologias a serem utilizadas no atendimento deste escopo;
- elaboração da arquitetura colaborativa de integração dos domínios: RV, STI e Ontologia;
- estudo de técnicas de deformação de superfície para processamento em tempo real;
- construção do protótipo que exemplifique a arquitetura proposta e particularmente do simulador de cirurgia;
- validação da arquitetura por especialistas e arquitetos da área de tecnologia e simulação por especialista em diagnóstico por imagem.

1.4 Apresentação do manuscrito

Para melhor compreensão dos tópicos apresentados, a tese está organizada em seis capítulos, além desta introdução que abrange: contextualização, definição do problema e objetivos geral/específico da tese.

O capítulo 2 aborda a revisão bibliográfica, buscando enfatizar inicialmente o processo de revisão adotado na tese. Em seguida os pontos de relevâncias são aprofundados tais como: Anatomia Mamária, Câncer de Mama, Procedimentos e Diagnósticos da Mama, Ontologia, Arquitetura Orientada a Serviço, RV e STI.

O capítulo 3 descreve a metodologia empregada no desenvolvimento do projeto, isto é, classificação da pesquisa, pressuposto, coleta e análise, delimitação do estudo e modelo proposto.

Resultados experimentais são discutidos no capítulo 4, seguido das conclusões no capítulo 5. Os apêndices contêm materiais complementares como o detalhamento de tecnologias empregadas na construção desse trabalho.

Capítulo 2

Referencial Teórico

Este capítulo traz uma revisão bibliográfica que enfatiza o domínio correspondente à anatomia da mama feminina, descrevendo as estruturas internas e externas da mesma, as neoplasias deste contexto e técnicas de punção, dando ênfase ao procedimento conhecida como Core Biopsy orientado por ultrassom. Em seguida são discutidos os domínios de ontologia, STI e RV buscando referências que relacionem estas três áreas, assim como metodologias, arquiteturas orientadas a serviço, tecnologias e equipamentos que possibilitem esta integração.

2.1 Processo da Pesquisa

O processo de pesquisa bibliográfica utilizado nesse trabalho baseia-se em nove passos [10]: (i) Definir o assunto a ser pesquisado; (ii) Resgatar a documentação, iniciando com a média de 20 referências a fim de obter uma visão panorâmica do assunto; (iii) Identificar nas referências a estrutura hierárquica da pesquisa feita, buscando o assunto geral e os específicos; (iv) Ler com atenção a bibliografia recolhida buscando as ideias principais; (v) Identificar as fontes de cada ideia; (vi) Rotular as ideias para facilitar as referências futuras; (vii) Organizar as ideias em seções; (viii) Escrever o referencial seguindo a hierarquia das apresentações e (ix) Concluir o referencial teórico identificando as principais ideias discutidas no seu texto e apontando para as questões de pesquisa em aberto na literatura.

Nesse sentido, inicialmente buscou-se identificar o conjunto de palavras chaves que representaria a síntese do assunto proposto nos capítulos introdutórios tais como: RV, STI, Simuladores de Cirurgia, Modelagem 3D, Deformação de Objetos/Superfície, Ontologias e Arquiteturas Orientadas a Serviço (AOS). Em seguida estas palavras chaves foram combinados e submetidos a pesquisas em bases de periódicos científicas como: *IEEE, ACM, PUBMED, Scirus, ScienceDirect, Medline* e Capes.

A partir dos resultados, construiu-se um quadro que relaciona as chaves descritas na Tabela 2.1 às bases científicas. De acordo com o processo apresentado anteriormente, buscou-se um conjunto de trabalhos que representasse uma visão panorâmica do conteúdo, assim como as linhas gerais e específicas de cada área pesquisada e sua respectiva interligação com outro domínio.

Algumas conclusões podem ser retiradas da pesquisa realizada: (i) Não existe registro encontrado nas bases de conhecimento científico que vinculam as chaves "virtual reality", "ontology" e "intelligent system tutor". Nesse sentido, uma proposta que relacione esses três domínios caracteriza-se como inovadora; (ii) Adição do token "intelligent system tutor" às pesquisas é ponto definitivo para a redução de registros encontrados. (iii) Especificamente na base da IEEE foi realizada uma busca avançada, tendo por base a ferramenta IEEE Explorer [11] que possibilita a definição de parâmetros de busca complementares como autor, ano de publicação, tipo de publicação e símbolos de associação como AND e OR. Nesse sentido as chaves foram formatados com a seguinte descrição: (((Virtual Reality) AND Ontology) AND Intelligent Tutor System), ((Virtual Reality) OR Ontology) AND Intelligent Tutor System e ((Virtual Reality) AND Ontology) OR Intelligent Tutor System).

Tabela 2.1: Combinação de Chaves

ID	ARGUMENTO DE PESQUISA
1	"virtual reality"
2	"ontology"
3	"Intelligent Tutor"
4	"Intelligent Tutor System"
5	"surgery simulator"
6	"virtual reality" + "ontology"
7	"virtual reality" + "ontology" + "Intelligent Tutor"
8	"virtual reality" + "ontology" + "Intelligent Tutor" + "Medical"
9	"virtual reality" + "ontology" + "Intelligent Tutor" + "Health"
10	"virtual reality" + "ontology" + "Intelligent Tutor" + "Health" + "Cancer"
11	"virtual reality" + "ontology" + "Intelligent Tutor" + "Medical" + "Cancer"
12	"virtual reality" + "ontology" + "Intelligent Tutor System" + "Health" + "Cancer"
13	"virtual reality" + "ontology" + "Intelligent Tutor System" + "Medical" + "Cancer"
14	"surgery simulator" + "virtual reality"
15	"surgery simulator" + "ontology" + "virtual reality"
16	"surgery simulator" + "ontology"
17	"surgery simulator" + "ontology" + "virtual reality" + "Intelligent Tutor"

Após a pesquisa nas bases científicas, os trabalhos dispostos na Tabela 2.2 foram selecionados para uma análise mais detalhada e, posteriormente, referenciados nas sessões específicas ao qual é relacionado.

Tabela 2.2: Trabalhos Selecionados

BASE	TIPO	DESCRIÇÃO	ANO
IEEE	Artigo	Onto-mama: An ontology of the female breast anatomy applicable to a virtual learning environment.	2011
IEEE	Artigo	The Role of Haptics in Medical Training Simulators: A Survey of the State of the Art.	2011
ORACLE	Artigo	Java blueprints patterns catalog.	2011
PUBMED	Artigo	Real-time 3-dimensional virtual reality navigation system with open mri for breast-conserving surgery.	2010
ACM	Artigo	Intelligent tutoring systems: Formalization as automata and interface design using neural networks.	2007
INRIA	Artigo	SOFA - an Open Source Framework for Medical Simulation.	2007
STANFORD	Artigo	The CHAI libraries.	2006
W3C	Artigo	Web Services Architecture.	2004
OReilly	Livro	SOA in Practice: The Art of Distributed System Design (Theory in Practice).	2007
PUBMED	Livro	A practical approach to minimally invasive breast biopsy.	1996
UNB	Tese	Uma Abordagem de Redes Quantizadas e Objetos Multiformes para a Modelagem de Domínio em Sistemas Tutores Inteligentes.	2010
UFSC	Tese	Metodologia para a Construção de Interfaces Adaptáveis em Sistemas Tutores Inteligentes.	2002
UNIVEM	Dissertação	Implementação e Avaliação de Interação em um Framework para Treinamento Médico.	2008
UFMG	Dissertação	Um Sistema de Ensino para Auxiliar Estudantes na Intepretação de Mamogramas e Diagnóstico de Câncer de Mama Via Web.	2008
UCB	Dissertação	Integrando realidade virtual em sistemas tutores inteligentes no domínio da saúde.	2007
UNIVEM	Dissertação	Estudo e implementação do método massa-mola para deformação em ambientes virtuais de treinamento médico usando a api java 3D.	2006

2.2 Estudo da Mama

2.2.1 Anatomia da Mama

As mamas são formadas por um conjunto de glândulas que têm como função principal a produção de leite. Desenvolve-se no embrião na região anterior do tórax, entre a segunda e a sexta costela, na chamada "linha do leite", que se estende da axila à região inguinal [12].

É constituída por um conjunto de 15 a 20 unidades funcionais conhecidas como lobos mamários, representados por 20 ductos terminais que se exteriorizam pelo mamilo. Apresentam a forma cônica ou pendular, variando de acordo com as características biológicas corporais e com a idade da pessoa [12].

A mama, além do tecido glandular, é composta por gordura, tecido conjuntivo, vasos sanguíneos, vasos linfáticos e fibras nervosas, conforme descrito na Figura 2.1, contudo um detalhamento maior das estruturas internas e externas do tecido mamário feminino será incluído nos Anexos da tese.

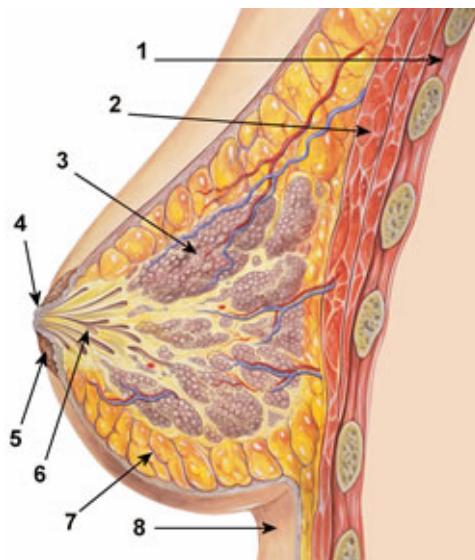


Figura 2.1: Anatomia do tecido mamário: 1-Parede Torácica, 2-Músculos peitorais, 3-Lobo mamário, 4-Mamilo, 5-Aréola, 6-Ductos lactíferos, 7-Tecido adiposo e 8-Pele [12].

Entre as diversas patologias do tecido mamário existentes, a que tem maior repercussão e atenção da área médica e do governo é o câncer de mama. De acordo com o Instituto Nacional do Câncer (INCA), órgão do Ministério da Saúde, o governo gasta 1,2 bilhões de reais por ano com tratamento do câncer, que inclui a internação hospitalar, quimioterapia e radioterapia [13].


2.2.2 Estatística de Evolução do Câncer

O problema do câncer no Brasil ganha relevância pelo perfil epidemiológico que essa doença vem apresentando, e, com isso, o tema tem conquistado espaço nas agendas políticas e técnicas de

todas as esferas de governo. O conhecimento sobre a situação dessa doença permite estabelecer prioridades e alocar recursos de forma direcionada para a modificação positiva desse cenário na população brasileira [1].

O câncer de pulmão é o mais comum no mundo, somando cerca de 1,2 milhão de casos novos anualmente, seguido pelo câncer de mama feminina, com aproximadamente 1 milhão de casos novos por ano. Câncer de cólon e reto, com cerca de 940 mil casos novos, e de estômago, com 870 mil casos novos, vêm em seguida. As maiores taxas de incidência de câncer são encontradas nos países desenvolvidos (Estados Unidos, Itália, Austrália, Alemanha, Canadá e França), enquanto nos países em desenvolvimento, as taxas mais elevadas encontram-se nos países africanos e no leste asiático. Estima-se ainda que existem cerca de 24,4 milhões de casos prevalentes no mundo. Se a tendência atual não se modificar, prevê-se que em 20 anos a incidência aumentará em cerca de 50% [1].

Estatisticamente, como já mencionado anteriormente, o câncer de mama é considerado o segundo tipo de câncer mais frequente no mundo e o primeiro entre as mulheres. No Brasil não poderia ser diferente. As regiões com maior número de casos são respectivamente: Sudeste - 71 casos/100.000 mulheres; Sul - 69/100.000; Centro Oeste - 38/100.000 e Nordeste - 27/100.000. Segundo estimativa do INCA, em 2012, o Brasil deveria esperar 52.680 novos casos da doença, com um risco estimado de 60 novos casos a cada 100 mil mulheres [1], como pode ser evidenciado na estatística disposta na Figura 2.2.



	Localização primária	casos novos	percentual
Mulheres	Mama Feminina	52.680	27,9%
	Colo do Útero	17.540	9,3%
	Cólon e Reto	15.960	8,4%
	Glândula Tireoide	10.590	5,6%
	Traqueia, Brônquio e Pulmão	10.110	5,3%
	Estômago	7.420	3,9%
	Ovário	6.190	3,3%
	Corpo do Útero	4.520	2,4%
	Sistema Nervoso Central	4.450	2,4%
	Linfoma não Hodgkin	4.450	2,4%

Figura 2.2: Estatísticas de evolução do câncer feminino [1].

2.2.3 O Câncer

O corpo humano é formado por milhões de células que se reproduzem através de um processo chamado divisão celular. Em condições normais, esse processo é ordenado e controlado e é responsável pela formação, crescimento e regeneração dos tecidos saudáveis do corpo. Em contrapartida, existem situações nas quais estas células, por razões variadas, sofrem uma "metamorfose" tec-

nicamente chamada de carcinogênese, e assumem características aberrantes quando comparadas com as células normais. Essas células perdem a capacidade de limitar e controlar o seu próprio crescimento passando, então, a multiplicarem-se muito rapidamente e sem nenhum controle. O resultado desse processo desordenado de crescimento celular é uma produção em excesso dos tecidos do corpo (que podem ser processos inflamatórios, infecciosos ou mesmo os crescimentos celulares benignos), formando o que se conhece como tumor [14].

Câncer é o nome dado a um conjunto de mais de 100 doenças que têm em comum o crescimento desordenado de células, que invadem tecidos e órgãos. Dividindo-se rapidamente, estas células tendem a ser muito agressivas e incontroláveis, determinando a formação de tumores malignos, que podem espalhar-se para outras regiões do corpo. As causas de câncer são variadas, podendo ser externas ou internas ao organismo, estando inter-relacionadas. As causas externas referem-se ao meio ambiente e aos hábitos ou costumes próprios de uma sociedade. As causas internas são, na maioria das vezes, geneticamente pré-determinadas, e estão ligadas à capacidade do organismo de se defender das agressões externas. Os tumores podem ter início em diferentes tipos de células. Quando começam em tecidos epiteliais, como pele ou mucosas, são denominados carcinomas. Se o ponto de partida são os tecidos conjuntivos, como osso, músculo ou cartilagem, são chamados sarcomas [1].

Várias classificações já foram propostas para as neoplasias. A mais utilizada leva em conta dois aspectos básicos: o comportamento biológico e a histogênese do tumor. Segundo o comportamento biológico, os tumores podem ser agrupados em três tipos: benignos, limítrofes e malignos [1]. Os tumores benignos tendem a apresentar crescimento lento e expansivo determinando a compressão dos tecidos vizinhos, o que leva à formação de uma pseudocápsula fibrosa. Já nos casos dos tumores malignos, o crescimento rápido, desordenado, infiltrativo e destrutivo não permite a formação desta pseudocápsula; mesmo que ela se encontre presente, não deve ser equivocadamente considerada como tal, e sim como tecido maligno [1].

O câncer detém o poder de matar por invasão destrutiva os órgãos normais, pois não respeita as mais básicas regras de "convivência social" entre as células e cresce demais, ocupando o espaço de seus vizinhos, sufocando-os. Ele detém a propriedade de se disseminar através da corrente sanguínea e dos vasos linfáticos, produzindo as chamadas metástases, que na verdade são uma espécie de "filial" do tumor primário, em outro órgão ou tecido [14].

A metástase também pode invadir órgãos e tecidos circunvizinhos por continuidade, impondo severos danos a estes órgãos e tecidos. O comportamento anormal das células cancerosas é geralmente espelhado por mutações nos genes das células, ou secreção anormal de hormônios ou enzimas. A maioria dos cânceres invade ou se tornam metastáticos, mas cada tipo específico tem características clínicas e biológicas, que devem ser estudadas para um adequado diagnóstico, tratamento e seguimento [14].

As pesquisas em câncer têm avançado rapidamente nas últimas décadas, mostrando ser uma doença que envolve alterações dinâmicas no genoma. Várias linhas de pesquisa indicam que o processo de carcinogênese em humanos tem múltiplos estágios que refletem alterações genéticas, as quais conduzem ao processo de transformação de uma célula normal em uma célula maligna. O

grande objetivo no campo oncogenômico é tentar responder questões clinicamente relevantes, como quais tumores permanecerão inativos, quais pacientes necessitarão ou não de terapias sistêmicas e quais drogas deverão ser utilizadas. As diversas entidades coletivamente chamadas de "câncer" resultam do acúmulo de mutações, instabilidades cromossômicas e alterações epigenéticas que promovem aumento da taxa de proliferação e dano celular, o que prejudica progressivamente o detalhado e complexo sistema de regulação do crescimento e da morte celular [15].

2.2.4 Neoplasias da Mama

O câncer da mama, como outras neoplasias malignas, é uma doença de origem celular que se caracteriza por uma multiplicação incontrolável de células anormais, sendo os principais fatores de risco: a idade, aspectos endócrinos e genéticos [16].

Os aspectos endócrinos estão relacionados principalmente ao estímulo estrogênico, seja endógeno ou exógeno, com aumento do risco quanto maior for o tempo de exposição. Possuem risco aumentado as mulheres com história de menarca precoce (idade da primeira menstruação menor que 12 anos), menopausa tardia (após os 50 anos), primeira gravidez após os 30 anos, nuliparidade e terapia de reposição hormonal pós-menopausa, principalmente se prolongada por mais de cinco anos. Outros fatores incluem a exposição a radiações ionizantes em idade inferior a 40 anos, a ingestão regular de bebida alcoólica, mesmo que em quantidade moderada (30g/dia), obesidade, principalmente quando o aumento de peso se dá após a menopausa, e sedentarismo. História familiar, principalmente em parentes de primeiro grau antes dos 50 anos, são importantes fatores de risco para o câncer de mama e podem indicar predisposição genética associada à presença de mutações em determinados genes. Entretanto, o câncer de mama de caráter hereditário (predisposição genética) corresponde a cerca de 5-10% do total de casos [17].

O câncer de mama pode ser invasivo ou não invasivo. Invasivo significa que ele se espalhou além dos dutos mamários exemplificado na Figura 2.3(a) ou do lóbulo para outros tecidos da mama disposto na Figura 2.3(b). Não invasivo significa que ele ainda não invadiu outros tecidos da mama. O câncer de mama não invasivo é também chamado de "in situ", sendo a detecção de tumores *in situ*, significar alta possibilidade de cura e exige tanto tecnologia quanto percepção e treinamento em radiologia mamária. O carcinoma invasivo é definido como um grupo de tumores epiteliais malignos caracterizados por invadir o tecido adjacente e ter marcada tendência à metástase. A grande maioria desses tumores é derivada das células da unidade ducto terminal do lóbulo mamário [15].

Um dos maiores desafios para o estudo e tratamento do carcinoma de mama é a resolução da heterogeneidade tumoral característica destes carcinomas. A classificação morfológica (anátomo-patológica) atualmente utilizada é insuficiente para caracterizar os carcinomas de mama, uma vez que os tumores com o mesmo grau, estágio e tipo histológico podem apresentar diferentes prognósticos e respostas à terapia. Acredita-se que as limitações na classificação morfológica são devidas à incapacidade de considerar as características biológicas destes tumores [18].

O aumento da incidência do câncer de mama no Brasil pode estar associado à melhoria no

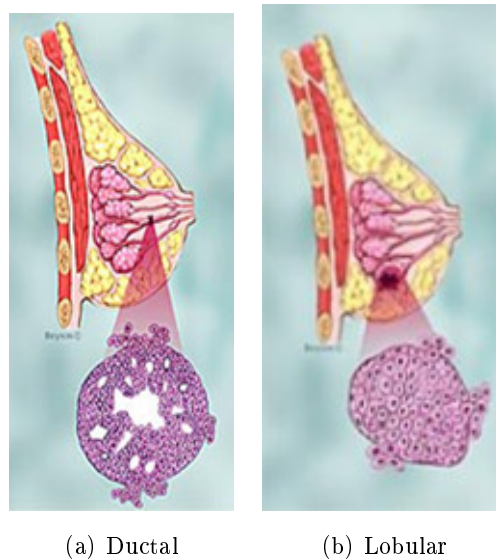


Figura 2.3: Carcinomas invasivos mais frequentes da Mama [16].

diagnóstico e à qualidade das informações, porém altas taxas de mortalidade são atribuídas ao retardo no diagnóstico da doença. O diagnóstico tardio pode estar relacionado a dificuldade de acesso da população aos serviços públicos de saúde, baixa capacitação dos profissionais envolvidos na atenção oncológica, incapacidade do sistema público na demanda ou na baixa capacidade dos gestores municipais e estaduais em definir o fluxo de casos suspeitos em diferentes níveis de atenção [19].

2.2.5 Métodos Diagnósticos e Procedimentos Minimamente Invasivos

O Exame Clínico da Mama (ECM) é parte fundamental do processo para o diagnóstico em mastologia sendo tradicionalmente composto pelo exame físico, mamografia e citologia [15]. Deve ser realizado como parte do exame físico e ginecológico, e constitui a base para a solicitação dos exames complementares. Apesar da importância do exame clínico periódico das mamas, inúmeros esforços têm sido direcionados para a detecção do nódulo antes deste tornar-se palpável, sendo a mamografia considerada o método mais eficaz no rastreamento do câncer em pacientes assintomáticas. Preconiza-se a realização de mamografia de rotina a partir dos 35 anos. Nessa idade, realiza-se o primeiro exame (mamografia de base) que servirá de referência para os próximos e, a partir dos 40 anos, tem-se indicado a realização de mamografia anualmente [20].

Após obtidas as radiografias básicas, eventualmente são necessárias incidências complementares que auxiliarão o médico radiologista na interpretação do exame. As lesões na mama podem apresentar-se de várias formas na mamografia, seja na forma de nódulo, calcificações, distorções ou de assimetria de densidade do tecido mamário, e por vezes seus sinais são inespecíficos ou indiretos, daí a importância da avaliação das imagens por médico especializado na área específica do estudo das mamas [21] ou a solicitação de exames complementares como ultrassonografia ou ressonância magnética. Os laudos mamográficos em todo mundo devem atender os critérios de classificação do *Breast Imaging Reporting and DataSystem* (BI-RADS).

O diagnóstico por imagem das doenças da mama tem permitido a detecção de lesões em estágio inicial de desenvolvimento graças à evolução tecnológica. Alguns se tornaram mais eficazes, por exemplo, a mamografia digital, que é a evolução tecnológica da mamografia e tem maior acurácia em mulheres com mamas radiograficamente densas e mulheres jovens com menos de 50 anos e na pré-menopausa. A ultrassonografia da mama complementa a mamografia, em particular, no estudo de mamas densas e heterogêneas, assim como avaliação da ecotextura da massa. Conta-se também com a ressonância magnética, que tem hoje indicações precisas no estudo da mama, principalmente as mulheres pertencentes ao grupo de alto risco, de acordo com a *American Cancer Society* [20].

A ultrassonografia é um exame complementar à mamografia, e não a substitui [15], porém, em muitos casos, o melhor método na avaliação inicial de nódulo/massa palpável, com maior eficácia na detecção de alterações no tecido fibroglandular denso; Contribuição na avaliação da integridade dos implantes mamários, além de auxiliar a mamografia na visualização do tecido mamário que pode ficar obscurecido pela prótese; Auxilia no direcionamento de procedimentos diagnósticos, como punções, biópsias e agulhamentos pré-cirúrgicos e pode ser utilizado no período pré-operatório de pacientes com tumor de mama já diagnosticado, permitindo melhor avaliação do restante do tecido mamário, na busca de outros focos da doença, o que, em caso positivo, muda a conduta cirúrgica e terapêutica [21].

A conduta nas lesões não palpáveis segue a proposta do BI-RADS, publicado pelo Colégio Americano de Radiologia (ACR) e recomendada pelo Colégio Brasileiro de Radiologia (CBR). Nos casos Categoria 3 (BI-RADS) devem ser realizados dois controles radiológicos com intervalo semestral, seguidos de dois controles com intervalo anual. Nas lesões Categoria 4 e 5 (BI-RADS) está indicado o estudo histopatológico, que pode ser realizado por meio de Punção por Agulha Grossa (PAG), mamotomia ou biópsia cirúrgica. Por tratar-se de lesão não palpável, a biópsia cirúrgica deve ser precedida de Marcação Pré-Cirúrgica (MPC), que pode ser guiada por raios X (mão livre, biplanar ou estereotaxia) ou por ultrassonografia [22].

Tanto a mamografia quanto a ultrassonografia ou ressonância magnética exemplificadas nas Figuras 2.4(a), 2.4(b), 2.4(c), têm contribuído eficazmente na visualização das lesões mamárias, facilitando o processo de coleta de amostras de tecido e avaliação anatomopatológica, e que é denominada genericamente de biópsia de fragmentos. Antes do advento deste procedimento minimamente invasivo, a biópsia cirúrgica era o único recurso para a elucidação diagnóstica de qualquer alteração mamária [21].

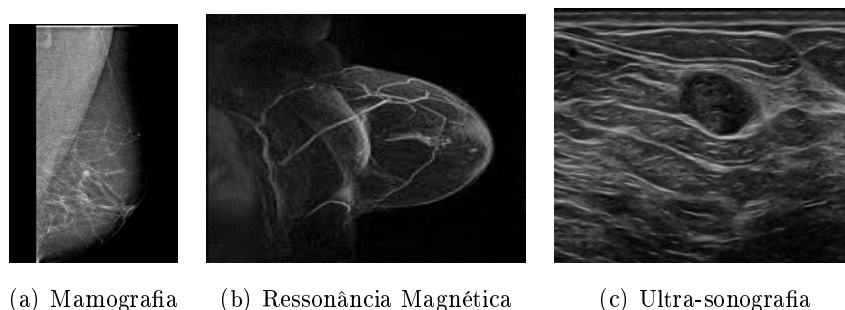


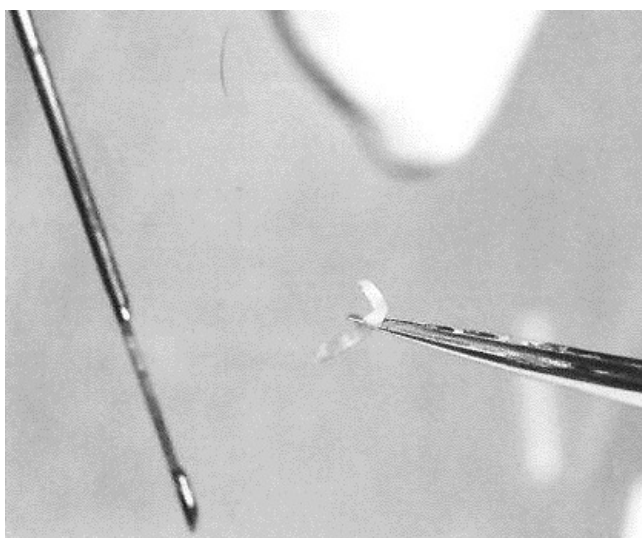
Figura 2.4: Imagens para diagnóstico de lesões mamárias [21].

Dentre os procedimentos diagnósticos que podem ser realizados para avaliação de uma lesão mamária citam-se: a Punção Aspirativa por Agulha Fina (PAAF), a biópsia Percutânea por Agulha Grossa (PAG) ou (*Core Biopsy*), a biópsia Percutânea Vácuo-Assistida (Mamotomia) e o agulhamento pré-cirúrgico [23].

A PAG e a mamotomia podem ser dirigidos tanto pela mamografia, raios X (estereotaxia), quanto pela ultrassonografia, e a indicação do método que irá direcionar o processo deve ser efetuada após o estudo criterioso dos exames, com análise do tipo e da posição da lesão na mama. No caso da biópsia percutânea (*Core Biopsy*) exemplificada na Figura 2.5(a), utiliza-se uma "pistola" com excursão de 20-22mm acoplado a uma agulha de grosso calibre, 14 gauges(2-1mm) [24], que dirigido pela mamografia (estereotaxia) ou pela ultrassonografia, alcança a área a ser investigada, retirando pequenos fragmentos que representam amostras do tecido representado na Figura 2.5(b), os quais serão avaliados pelo médico patologista para o seu diagnóstico definitivo [25].



(a) Core Biopsy orientada por Ultra-Som



(b) Amostra de Tecido

Figura 2.5: Procedimento Core Biopsy [15].

Anteriormente à introdução da agulha, faz-se um ponto anestésico no local da punção e uma pequena incisão na pele com bisturi (2-3 mm) e o trocater de 14 gauges é inserido no corte. Alguns preferem o trocater, pois permite que múltiplas biopsias sejam obtidas a partir de um único ponto, reduzindo o risco de formação de hematoma do trajeto da agulha [24]. A agulha é orientada até o tumor sob orientação do ultrassom retira o fragmento a partir de um entalhe na agulha, sendo recomendados pelo radiologistas um total de cinco. Quando essas condições são obtidas, uma taxa de 100% de acurácia é possível mesmo em lesões muito pequenas [24].

Embora as pistolas automáticas para biópsia sejam utilizadas pela maioria dos especialistas, a recente introdução de um novo aparelho, o mamotômio, utilizado conjuntamente aos aparelhos de esterotaxia ou de ultrassonografia, conquistou uma ampla atenção [23]. O mamotômio superou muitas dificuldades inerentes aos aparelhos de *Core Biopsy*, as quais incluem a necessidade de múltiplas inserções da agulha para a aquisição de múltiplas amostras, a necessidade de apontar com precisão o alvo, a necessidade de disparar o aparelho para a aquisição do tecido, o qual às

vezes pode ser escasso, e por ultimo a grande dificuldade de tecido com microcalcificações [23].

O mamotômio trabalha com princípios diferentes ao das pistolas automáticas. Ao invés do *tru-cut* da agulha, que retira o tecido em uma área da qual deve ser retirado após cada disparo, o mamotômio utiliza uma câmara de vácuo que ajuda a puxar o tecido para dentro da sonda e a transportá-lo de volta, e assim não é necessário a retirada a cada intervenção [23]. Esse equipamento proporciona maior quantidade de tecido durante cada intervenção e a lesão poderá ser investigada mais rapidamente e de forma mais completa, pois o aparelho permanece dentro da mama enquanto as amostras de tecido são retiradas. Parker e Bulbank [23] também acreditam que o mamotômio é útil especialmente nas biópsias estereotáxicas de microcalcificação.

Porém, apesar do avanço tecnológico, a mamografia não detecta entre 10 a 20% dos cânceres de mama, seja por fatores inerentes ao tipo da mama da paciente (mamas com intenso predomínio fibroglandular, por exemplo, dificulta a visualização de nódulos) ou por fatores próprios do tipo tumoral que pode manifestar-se por sinais indiretos, de difícil identificação nos exames. Com base nisso, intensos esforços têm sido direcionados para o aprimoramento e desenvolvimento de novas técnicas que possam ampliar o número de pacientes beneficiadas com o diagnóstico precoce da doença [23]. A Ressonância Magnética tem-se mostrado um método promissor no diagnóstico do câncer de mama e já tem sido utilizada como complemento da mamografia e da ultrassonografia em casos duvidosos, demonstrando alta resolução.

No entanto, deve ser salientado que os achados identificados nos diferentes métodos de imagem (Mamografia, Ultrassonografia e Ressonância Magnética) devem ser analisados, sempre que possível, em conjunto para a conclusão final de uma hipótese diagnóstica, e, até o momento, a ressonância mamária não tem sido indicada como exame de rastreamento para o câncer de mama, exceto em casos de pacientes que apresentem risco comprovado para doença por alteração genética previamente identificada em exames específicos [21] [26].

Desse modo, em relação ao contexto da área médica, a tese aborda o estudo das estruturas internas e externas da mama feminina, assim como o procedimento denominado *Core Biopsy* ou PAG assistida por ultrassom, devido a simplificação deste comparada com os demais. Em virtude das características ressaltadas pela área médica, como visualização realística das estruturas e simulação do procedimento, tais requisitos requerem o uso de ferramentas e tecnologias de última geração, como é o caso da RV, Processamento Distribuído e Orientado a Serviço, Ontologias, STI, *Interfaces* de Contato, Multimídia, Hipermídia e *Internet*. Estas tecnologias ressaltadas possibilitaram a criação de uma ambiente visualização e interação 3D de processamento distribuído em ambiente colaborativo, como por exemplo a rede mundial de computadores.

2.3 Ontologia

2.3.1 Definição

Ontologia é "uma maneira de conceituar de forma explícita os conceitos e restrições do domínio de interesse" [27]. Em outras palavras, ontologia é um modelo abstrato com o intuito de representar

conceitos de um determinado domínio de forma clara e objetiva. Gruber [28] complementa que é importante uma ontologia 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 [27], 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 [28].

De acordo com Fensel [29], 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 [30], 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, visto que essa é 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 (3) tipos de informação, de modo a facilitar a compreensão dos diferentes níveis de abstração, as quais são elencadas a seguir [31]:

- 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 [32], uma ontologia pode ser classificada em três (3) 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 (5) componentes [27]:

- 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 *enésimo* elemento da relação é único para os $n-1$ elementos precedentes;
- 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 [27]:

- 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.

A *OWLAPI* é uma *framework* Java de características *opensource* disponível no site *SourceForge* que possibilita o processamento das classes, propriedades, relacionamentos da ontologia, axiomas, assim como possíveis interações com máquinas de inferência [33].

A precisão em uma linguagem para descrição de ontologias é fator determinante na qualidade do material produzido, influenciando bastante no desempenho de aplicações que utilizem definições provenientes dessas ontologias e na validação do material. A OWL, linguagem recomendada pelo consórcio W3C atualmente, é uma extensão do *Resource Description Framework* (RDF) baseada em XML. Por ser uma recomendação do consórcio, que é o grande promotor da *Web Semântica*, o que se espera é que essa linguagem seja bastante utilizada [34].

O objetivo de desenvolver, além de uma apresentação visual direcionada para humanos, um documento estruturado e em um formato como os apresentados em OWL, está em produzir informações sem ambiguidades e que podem ser processadas por agentes de *software* para outras aplicações. A OWL oferece não somente a definição padronizada de classes, propriedades e relacionamentos entre conceitos, mas permite também que inferências lógicas sejam obtidas a partir dos vínculos estabelecidos entre domínios diferentes.

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 a definição e a conceitualização comuns 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).

2.3.2 Modelagem

A metodologia é uma técnica que, por meio dos estudos dos métodos, busca facilitar e criar uma certa padronização para alcançar um fim desejado, neste caso, a construção de ontologias. Contudo, encontram-se certas dificuldades nesse processo, devido a não existência de padrões, fazendo com que grande parte dos seus desenvolvedores utilizem critérios próprios para seu desenvolvimento [35]. Com isso, muitos deles não planejam a construção da ontologia, passando diretamente da fase de aquisição do conhecimento para a implementação, gerando problemas como [36] [37]:

- a conceitualização da ontologia não fica muito clara no código da implementação;
- a falta de padronização acaba por dificultar seu reuso, pela dificuldade de compreensão;
- gera dificuldade para a implementação de ontologias mais complexas, devido a falta do uso de uma metodologia, o que torna a transferência do conhecimento para a implementação mais difícil.

Devido a estes problemas encontrados pela falta de padronização, tem-se a necessidade da adoção de metodologias para a construção de ontologias, objetivando assim, reduzir as dificuldades encontradas em sua implementação e facilitar a reutilização [37].

Metodologias têm sido construídas com o intuito de sistematizar a criação e manipulação de ontologias [38]. Existe uma série de metodologias desenvolvidas, contudo sua escolha está relacionada aos objetivos finais que se deseja alcançar com a construção da ontologia, como o detalhamento dos processos utilizados e sua manutenção [37].

Algumas das metodologias existentes são: *Kactus*; *Sensus*; *On-to-Knowledge*; *Ushold e King*; *Gruninger e Fox*; e *Methontology*. Dentre estas, a última é a mais utilizada para a construção de ontologias. Além disso, se identifica no propósito da construção da ontologia desta pesquisa [37].

A metodologia *methontology* foi desenvolvida pelo Laboratório de Inteligência Artificial da Universidade Politécnica de Madrid, da Espanha, em 1997 [35]. A construção de ontologias segundo este método envolve estágios de: especificação, aquisição do conhecimento, conceitualização, formalização, integração, implementação, avaliação, documentação e manutenção. A partir destes estágios o conhecimento é representado nas ontologias [37].

A *Methontology* possibilita a construção de ontologias no nível do conhecimento, sendo caracterizada por apresentar: uma identificação do processo de desenvolvimento de ontologias; um ciclo de vida baseado em evolução de protótipos; e técnicas particulares para alcançar cada uma de suas atividades [39]. Esta metodologia propõe um ciclo de vida baseado na evolução de protótipos para o desenvolvimento de ontologias porque permite adicionar, mudar ou remover termos em cada nova versão, ou seja, novo protótipo da ontologia [37].

Tem-se como característica também deste método, a sua forma estruturada para a construção de ontologias, que é composta por alguns estágios descritos a seguir [35][37]:

- **especificação:** objetiva a elaboração de um documento, utilizando-se linguagem natural, contendo informações como o principal objetivo da ontologia e seus demais propósitos;
- **aquisição de conhecimento:** busca as possíveis fontes de conhecimentos, tais como entrevistas com especialistas do domínio, consulta a livros, ontologias já existentes, entre outros. Apesar de ser um estágio inicial, deve estar presente em todos os outros;
- **conceitualização:** considerada como a principal fase desta metodologia. Trata da estruturação do domínio do conhecimento, em um modelo conceitual. Baseia-se no vocabulário adquirido com as fases anteriores, objetivando a descrição dos problemas enfrentados e as suas possíveis soluções;
- **formalização:** o modelo conceitual criado no estágio anterior é transformado em um modelo formal, ou seja, é representado por meio de uma linguagem formal;
- **integração:** objetiva a integração da ontologia que se está construindo as outras já existentes. Envolvendo assim, a busca por ontologias que melhor se adéquem a conceitualização utilizada;
- **implementação:** o modelo conceitual gerado é implementado de forma a ser computável;

- **avaliação:** trata da avaliação em si da ontologia e deve considerar os processos de verificação e validação;
- **documentação:** auxilia na possível manutenção, e facilita uma de suas vantagens, a reutilização. Compõe-se por alguns elementos, como documentos de: especificação dos requisitos, alcançados após a especificação da ontologia; aquisição de conhecimento; modelo conceitual, obtido após a conceitualização; formalização e avaliação;
- **manutenção:** constituem as alterações quando necessárias, para possíveis melhorias ou correções.

2.3.3 Ontologias Relacionadas ao Domínio da Mama

Esquemas de representação do conhecimento para formalizar e padronizar protocolos e terminologias médicas são preocupações antigas. A *Web* semântica traz uma nova era para as aplicações médicas auxiliadas por computador, permitindo a integração de informações essenciais e serviços distribuídos geograficamente. Tais serviços aumentam a necessidade por ontologias com o objetivo de facilitar o compartilhamento do vocabulário médico [40]. Uma aplicação em particular, que se beneficia do uso de ontologias, está relacionada com a interpretação e diagnóstico de câncer de mama. O trabalho mais abrangente sobre ontologias para mamografias digitais foi desenvolvido dentro do projeto *Medical Imaging with Advanced Knowledge Technologies (MIAKT)*, cujo objetivo é o diagnóstico e o tratamento de câncer de mama. A ontologia denominada *Breast Cancer Imaging Ontology*, foi desenvolvida para os domínios de imagens de ultrassom, raio-X e ressonância magnética; histopatologia; e informações clínicas da paciente [41] [42].

Podsiadly-Marczykowska [43] propôs o desenvolvimento da *MammoOnt*, uma ontologia para mamografias com dois objetivos: o primeiro para providenciar um vocabulário comum e definições formais de conceitos que possam ser utilizados para descrever e interpretar mamografias; e o segundo para usar a ontologia como uma base de dados para laudos de mamografias. Rose [44] propôs uma ontologia para câncer de mama, restrita aos termos disponíveis na base de dados *Digital Database for Screening Mammography (DDSM)* [45], com o objetivo de desenvolver um serviço *Web* para recuperar mamografias da base de dados em formato de imagem padrão.

A *BreastCancerOnto* [46] representa o conhecimento médico sobre achados radiológicos em mamografias. O domínio da aplicação envolve a interpretação e a análise de mamografias para auxiliar no diagnóstico de câncer de mama e em atividades de ensino. A consistência da ontologia foi avaliada por um conjunto de questões de competência conforme descrito por Grunninger [47].

A *OntoMama* [48] foi construída com auxílio da metodologia *Methontology* por um projeto de pesquisa na UnB-Gama. Basicamente a ontologia contempla as estruturas internas e externas na anatomia da mama feminina, procedimentos médicos de punção de mama e equipamentos de auxílio ao procedimento cirúrgico. O conteúdo textual é representado na ontologia através da inserção de anotações do tipo *comment* [49] com a identificação do padrão de nacionalidade a qual pertence o texto, permitindo que estudantes possam solicitar informações em sua língua de origem, como pode ser observado na Figura 2.6.

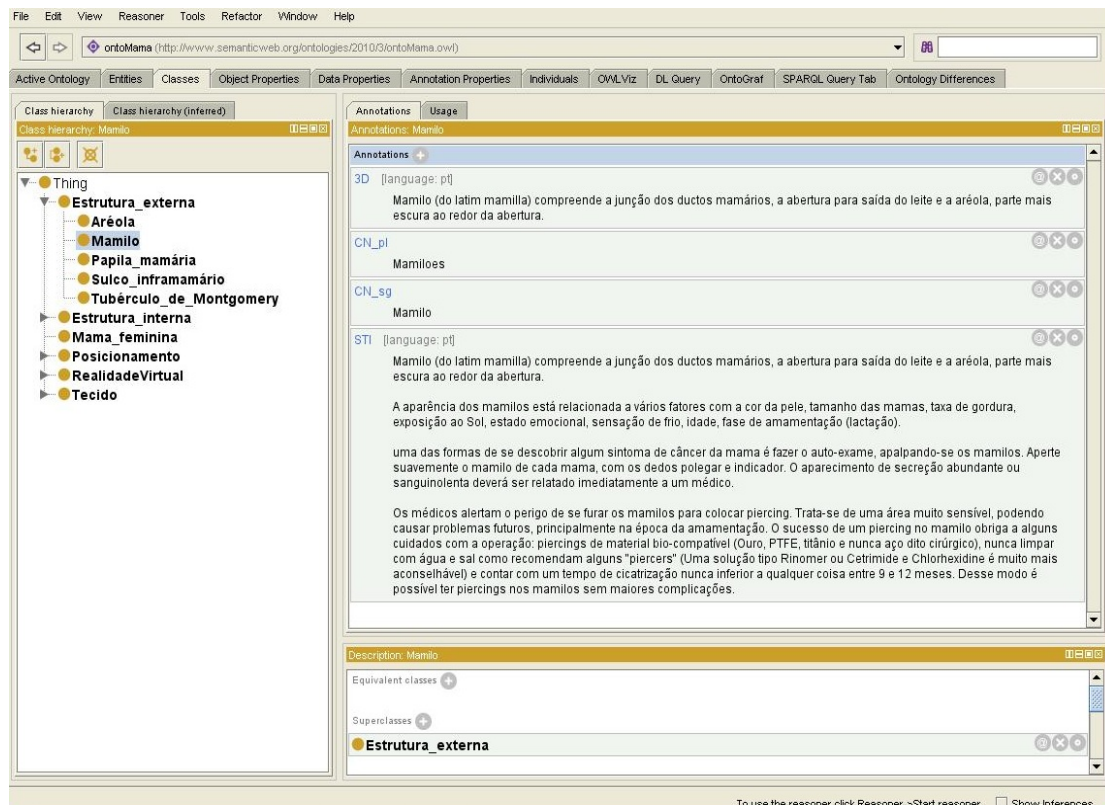


Figura 2.6: Inserção do Conteúdo em Português Definido pelo Especialista na OntoMama [48].

Este trabalho terá como base a ontologia *OntoMama* desenvolvida em conjunto com a Clínica Janice Lamas Radiologia, como requisito inicial para representação do conteúdo formal na arquitetura proposta, adequando o modelo as necessidades da tese.

2.4 Sistemas Tutores Inteligentes

A ideia de utilizar o computador como uma "máquina de ensino" buscando automatizar o processo de aprendizagem, motivou os primeiros esforços da década de 1960 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 sequência, sendo nesse sentido a aprendizagem modelada a partir de estímulos previamente planejados [50]. Não havia previsão de escolhas por parte do aprendiz. Os sistemas basicamente ofereciam duas (2) 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) [51].

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 sequência

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 educacional, e não objetivavam nenhum tipo de personalização levando em conta o perfil do usuário (aprendiz) [50] [51].

Na década de 1970, foi apresentada uma nova proposta sobre como tratar a questão da "aprendizagem-computadorizada". Carbonell (1970) [52] 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 ideia aparentemente "simples", trata-se de uma tarefa de alta complexidade, tanto em nível de modelagem, como de implementação [3].

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 [50].

Esta dinâmica de sala de aula é que se pretende "transferir" ao sistema, isto é, a ideia 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) [52], 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.

Em 1982, Sleeman e Brown [53] revisaram o estado da arte dos sistemas CAI e criaram o termo STI ou *Intelligent Tutoring Systems (ITS)* para descrever os ICAI e diferenciá-los dos CAI. Os STI são baseados na ideia principal de que o aluno e parte atuante do processo educacional e situações desafiadoras devem ser utilizadas de modo a promover uma aprendizagem mais efetiva e abrangente [54].

Um STI utiliza as técnicas de IA de modo a proporcionar uma ambiente de aprendizagem que leve em consideração os diversos estilos cognitivos dos alunos [55]. Para isso, um STI deve modelar o perfil cognitivo do aprendiz por meio direto, com uso de questionários, ou indireto, pela análise do comportamento do estudante em interação com o ambiente, e atuar na seleção e apresentação do material de aprendizagem de acordo com as características do estudante. A forma de selecionar e apresentar o material depende das estratégias de ensino que são utilizadas na concepção do sistema tutor [54].

Além da característica de tornar o ambiente de aprendizagem propício a uma aprendizagem mais eficiente para o estudante, um STI deve também aprender com sua interação com o usuário e reavaliar suas estratégias de avaliação e de ensino de maneira coerente e dinâmica [54].

2.4.1 Teorias de Aprendizagem

O estudo das teorias de aprendizagem é fundamental para todos os profissionais da área de ensino e aprendizagem e, no caso específico dessa tese, como está se tratando de uma proposta de arquitetura que envolve STI, é importante fundamentar os módulos que processam esse domínio com as teorias existentes e qual teoria será empregada. Porém, a aprendizagem não é foco do trabalho e dessa forma a revisão será sucinta.

As teorias de aprendizagem são tentativas de interpretar sistematicamente, de organizar e de fazer previsões sobre o conhecimento relativos à aprendizagem [56]. Segundo Hill, representa o ponto de vista sobre a abordagem de assuntos concernentes à aprendizagem e a especificação de quais são as variáveis independentes, dependentes e intervenientes que possuem relevância acadêmica [57].

Contudo, para definir o que é uma teoria de aprendizagem é preciso conceituar aprendizagem. Para alguns, aprendizagem é a aquisição de informação ou de habilidades e, para outros, aprendizagem é a mudança do comportamento devido à experiência [54]. Segundo Moreira (1999), as teorias de aprendizagem podem ser basicamente classificadas em três (3) categorias: behavioristas, cognitivistas e as humanistas.

O Behaviorismo foi criado para ser um método científico de modo a explicar o comportamento humano. Termo criado por John B. W., rejeita a hipótese de que existe algo além do mundo físico. Uma outra vertente conhecida como Behaviorismo radical defendida por Skinner, ignora complementamente a utilização das variáveis intervenientes, tais como impulso e força de hábito, e utiliza apenas as variáveis de entrada e saída, estímulos e respostas, para prever o comportamento observável [58]. A visão de Skinner é bastante influente até os dias atuais, onde o estímulo é o evento que afeta os sentidos do aprendiz, o reforço é o evento que aumenta a probabilidade de ocorrência de um comportamento que o precedeu e as contingências de reforço são um arranjo de uma situação em que a ocorrência de uma resposta que leve ao reforço é tornada mais provável.

O Cognitívismo surgiu como uma reação ao Behaviorismo clássico. Nessa teoria, o objetivo está focado em estudar os processos mentais superiores (variáveis, intervenientes), tais como compreensão, percepção, atenção, memórias, linguagem, tomada de decisão e outros processos intelectuais, do que associações estímulo-resposta [56] [54]. A cognição, ou atividade mental, descreve a aquisição, o armazenamento, a transformação e a aplicação do conhecimento. A abordagem cognitiva é uma orientação teórica que enfatiza o conhecimento que as pessoas possuem e seus processos mentais [59].

As primeiras teorias de aprendizagem cognitivas compreendem as de Herbb, da Gestalt, de Tolman e de Lewi, sendo seguidas por Piaget e Ausubel. Essa última precursora da aprendizagem significativa, onde o aprendizado é centrada no que o aprendiz conhece, para que um novo conceito

seja aprendido e retido em sua estrutura cognitiva [60].

A aprendizagem significativa é um processo pelo qual uma nova informação interage com um aspecto relevante da estrutura cognitiva do sujeito, tal como um conceito ou uma posição relevante. Esse elemento já existente da estrutura do conhecimento do aprendiz é chamado de subsunçor. Desse modo, o armazenamento de informações no cérebro é organizado em uma hierarquia de conceitos, sendo que elementos mais específicos são ligados à conceitos mais abrangentes e inclusivos [60].

O conhecimento acerca dos estilos de aprendizagem é capaz de favorecer cada um dos níveis de taxonomia dos objetivos educacionais (Conhecimento, Compreensão, Aplicação, Análise, Síntese, Avaliação) [61], ou seja, seria uma alternativa para fazer com que os objetivos estabelecidos pelos professores sejam alcançados pelos estudantes.

Os estilos de aprendizagem estão relacionados diretamente à forma particular de adquirir conhecimentos, habilidades ou atitudes através da experiência ou anos de estudo e seriam como um subconjunto dos estilos cognitivos. As teorias dos estilos de aprendizagem os consideram como resultado da hereditariedade (código genético), educação, personalidade e da adaptação do indivíduo às demandas do ambiente.

Felder e Silverman [62] entendem a aprendizagem como um processo de duas fases envolvendo a recepção e o processamento da informação. Na fase da recepção, a informação externa (captada pelos sentidos) e a informação interna (que surge introspectivamente) ficam disponíveis para o indivíduo, que seleciona o material a ser processado e ignora o restante. O processamento pode envolver simples memorização ou raciocínio indutivo ou dedutivo, reflexão ou ação, introspecção ou interação com outros indivíduos. O resultado é que o material é entendido de uma forma ou de outra, ou então, não é entendido. Desse modo, concluem que os estilos de aprendizagem referem-se aos modos pelos quais os indivíduos preferem receber e processar informações.

Felder e Silverman [62] contemplam cinco (5) dimensões de estilos de aprendizagem:

- **processamento:** ativo/reflexivo;
- **percepção:** sensorial/intuitivo;
- **entrada ou retenção:** visual/verbal;
- **compreensão:** sequencial/global;
- **organização:** indutivo/dedutivo;

O estilo de aprendizagem de um estudante pode ser entendido, em grande parte, a partir das respostas a cinco questões básicas:

- **qual informação é percebida preferencialmente pelo estudante?:** Sensorial (externa) – imagens, sons, sensações físicas ou Intuitiva (interna) – possibilidades, intuição, dicas;

- **através de qual canal sensorial a informação externa é recebida mais eficientemente?:** Visual – diagramas, gráficos, desenhos ou Auditivo – palavras e sons;
- **com qual organização da informação o estudante sente-se mais confortável?:** Indutiva – fatos e observações são dados e princípios são inferidos ou Dedutiva – princípios são apresentados e as consequências são deduzidas;
- **como o estudante prefere processar a informação?:** Ativamente – através do envolvimento direto em atividades físicas ou em discussões; ou Reflexivamente – de um modo mais introspectivo;
- **como o estudante estrutura a informação?:** Sequencialmente – utilizando-se de uma sequência de passos (linear) ou Globalmente – por meio de mapas mentais e elos de ligação (não-linear);

O perfil do estilo de aprendizagem de um estudante fornece uma indicação dos prováveis pontos fortes e possíveis tendências ou hábitos que poderiam estar conduzindo a dificuldades na via acadêmica.

No entendimento de Lopes (2002), Felder (1993) deixa claro que os estilos de aprendizagem são qualidades contínuas e não categorias únicas, e, como toda e qualquer medida de uma dimensão intrínseca ao sujeito, elas podem variar com o tempo, não devendo, portanto, serem consideradas como características estáticas, sofrendo, inclusive, influências das estratégias instrucionais adotadas, do conteúdo das disciplinas e do ambiente educacional.

Nesse sentido, pelas teorias estudadas e avaliadas, este trabalho se enquadra na linha do Cognitivismo, especificamente a aprendizagem significativa, onde o aluno com seu conhecimento prévio interage com o STI, a fim de lapidar ou atualizar seus conceitos.

2.4.2 Agregando Inteligência

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 [63]. 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 [63]. O termo IA foi criado por John McCarthy durante o famoso *Workshop do Dartmouth College*, ocorrido durante dois (2) 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 à impossibilidade de uma definição formal precisa para IA, visto que para tanto seria necessário definir, primeiramente, a própria inteligência, foram propostas algumas definições operacionais [64]: "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" [65].

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 [66]. 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 [67]. 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 [55]. Neste sentido, uma das sugestões encontradas na literatura para esse problema é apresentada na arquitetura clássica de STI da Figura 2.7.

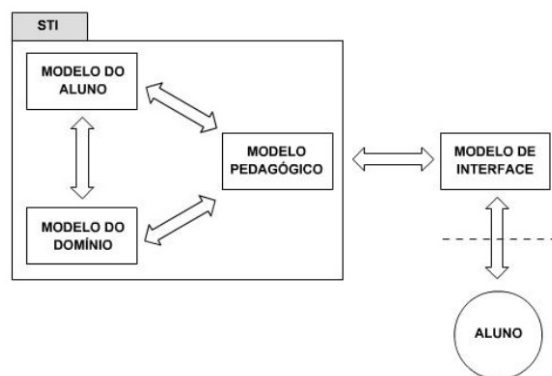


Figura 2.7: Arquitetura Clássica de um STI baseado em [68].

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, Redes Neurais Artificiais (RNA), entre outras [69].

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 [70].

Esses sistemas são capazes de deduzir possíveis problemas a partir de observações ou sintomas. A arquitetura de um sistema especialista é dividida por dois componentes básicos: um banco de informações que contenha todo o conhecimento relevante sobre o problema de uma forma organizada (base de conhecimento); um conjunto de métodos inteligentes de manipulação destes conhecimentos, os mecanismos de inferência. Apesar das limitações das máquinas, é possível a construção de sistemas especialistas com alto grau de desempenho, dependendo da complexidade de sua estrutura e do grau de abrangência desejado, sendo a arquitetura mais comum a que envolve regras de produção (*production rules*) [71]. Esta técnica é exemplificada pelo trabalho de Cardoso (2005), onde são elaboradas regras para o exame ortopédico do quadril, joelho e tornozelo, sendo uma dessa regras representadas na Figura 2.8.

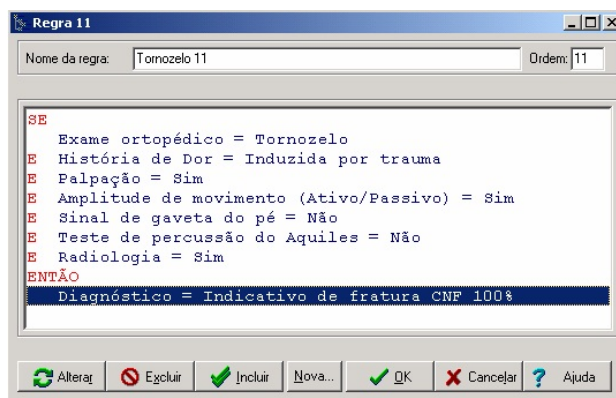


Figura 2.8: Exemplificação Regra de Sistema Especialista [71].

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 [72].

Outro mecanismo de agregação de inteligência é baseado em técnicas de RNA que representam modelos matemáticos de reconhecimento de padrões. Essa técnica inicialmente emprega um processo de aprendizagem, onde os parâmetros de entrada, peso das conexões, saídas e erros são processados em ciclo a fim de que a rede responda com estabilidade aos parâmetros de entrada [73]. Neste aspecto, uma das RNA utilizadas é a *Interaction Activation and Competition (IAC)*, que permite a adaptação do conteúdo conforme o perfil do usuário e de suas interações com o sistema [74].

A RNA do tipo IAC é uma rede conexionista apresentada, originalmente, por Rumelhart e Mc-

Clelland [75]. A arquitetura da RNA IAC apresenta uma topologia particular com características de memórias bidirecionais hetero-associativas, o que a torna bastante apropriada para a implementação de mecanismos de adaptação para *interfaces* adaptativas de STI e Hipermídia Adaptativa. Ou seja, esta RNA, sendo recursiva, apresenta características tais como [76]:

- recuperação das propriedades de um conceito a partir de seu nome;
- recuperação da descrição total de um conceito a partir de uma descrição parcial;
- recuperação do nome de um conceito a partir de suas propriedades;
- recuperação de generalizações apropriadas sobre o conjunto de conceitos.

Uma RNA IAC, segundo sua arquitetura original, apresenta características específicas tais como os neurônios organizados em *pools* competitivos, cada *pool* representando um conceito ou característica, interligados por um *pool* escondido através de ligações excitatórias. Os neurônios de cada *pool* representam propriedades ou "valores" dos conceitos ou características (representados pelos *pools*). Existem duas classes de unidades: algumas que podem receber entradas diretamente de fora da RNA e outras que não o podem. As primeiras são chamadas de unidades visíveis e as últimas são chamadas de unidades escondidas (aquelas pertencentes ao *pool* escondido). Nesta RNA o usuário pode especificar um padrão de entradas para as unidades visíveis, mas, por convenção, não é permitido especificar entrada externa para as unidades ocultas [74].

Nesta RNA, não há processo de treinamento e os pesos (que representam o conhecimento) são estabelecidos em uma matriz que representa as ligações entre *pools* diferentes, representando as relações existentes entre cada propriedade de cada conceito, através do *pool* interno e o (*pool* escondido), bem como a relação entre os neurônios de um mesmo *pool*. Os valores dos pesos podem ser 0, 1 ou -1 representando: nenhuma relação, existência de relação (apenas entre neurônios de *pools* diferentes) e relação de inibição entre os neurônios (apenas entre neurônios de mesmo *pool*), respectivamente [74] [76]. O relacionamento entre os neurônios internos de cada grupo pode ser observado no detalhamento disposto na Figura 2.9.

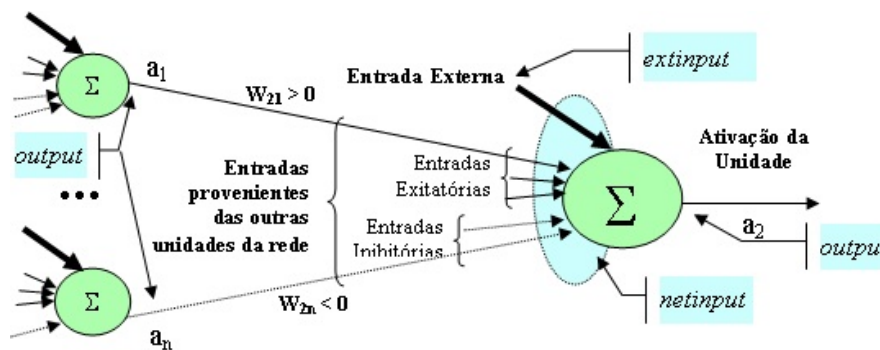


Figura 2.9: Modelo Básico de Processamento da Rede ICA [74].

Uma característica interessante desta RNA é que qualquer neurônio, que não os do *pool* escondido, pode ser considerado entrada ou saída (bidirecionalidade) e não há uma quantidade fixa

de neurônios a ser excitado (a entrada pode ser o conceito, todas as propriedades ou partes das propriedades). Excitando-se um neurônio (propriedade de um conceito), a RNA tende a procurar um novo estado de equilíbrio. As ativações de todos os outros neurônios, depois de encontrado o estado de equilíbrio, correspondem às saídas desejadas.

Nesse sentido, como o interesse da arquitetura proposta é possibilitar a adaptação da *interface* de acordo com a interação do aprendiz com o sistema, a RNA do tipo IAC enquadra-se como um ponto de destaque a ser trabalhada na metodologia. Tanto a RNA IAC quanto as informações de conteúdo do domínio presentes em ontologias podem ser representados na arquitetura como módulos independentes, possibilitando o desacoplamento dos módulos, contudo sendo acessível por um modo de comunicação externa.

2.4.3 STI Correlatos ao Estudo da Mama

A *internet*, hoje, também é um instrumento que fornece informações e se as mídias que representam essas informações estiverem moldadas de acordo com a inteligência individual de cada pessoa, isto certamente proporcionará ao usuário maior interesse pelo assunto apresentado. O trabalho de Pain [77], exposto na Figura 2.10, apresenta um sistema estruturado em três (3) módulos: módulo do usuário, módulo gerador de adaptações e módulo de *interface* destinado ao estudo do domínio de câncer de mama em uma metodologia de hipermídia adaptativa. A Hipermídia Adaptativa (HA) busca aumentar a eficácia educativa dos STI e Sistemas Hipermídia (SH), pois esta permite um meio termo entre o ensino fortemente guiado dos STI tradicionais e a livre busca do SH [78]. Para desenvolver o mecanismo de adaptação é utilizada dois (2) tipos de RNA: *Multilayer Perceptron* (MLP) e IAC. A construção do perfil do usuário é baseado em 150 questões de múltipla escolha para a determinação das oito (8) Inteligências múltiplas da técnica. Contudo, esse trabalho apenas emprega três (3): Linguística-verbal, Visual-espacial e Sinestésico-corporal [78].



Figura 2.10: Exemplificação de sistema baseado em hipermídia adaptativa [77].

O sistema proposto por Bôaventura [79] é composto por uma base de dados mamográficos que inclui as quatro (4) vistas mamográficas, os achados radiológicos global e local, o diagnóstico

comprovado por biopsia, o histórico clínico e informações sobre o estilo de vida do paciente, uma ontologia denominada *BreastCancerOnto* que incorpora semântica aos serviços *Web* e um tutorial hipertexto que orienta os usuários. Os quatro (4) serviços disponibilizados pelo sistema buscam: orientar o estudante passo a passo, para análise correta de um dado mamograma; simular o diagnóstico de câncer de mama; responde às questões do usuário; e tutora o aprendiz baseado em técnicas de educação [79].

Os *Web Services* oferecem a possibilidade de acessar um determinado recurso em um ambiente distribuído como pode ser observado na Figura 2.11, que representa o diagrama de comunicação do sistema desenvolvido por Bôaventura. Os serviços oferecidos são: *search web service*, *Aquest web service*, *Tutor web service* e *SimDiag web service*. O serviço "search" procura o termo informado pelo usuário na ontologia *BreastCancerOnto*. *Aquest service* permite que o usuário formule perguntas a partir de estruturas gramaticais definidas nas classes, propriedades e instancias da ontologia e submete a *BreastCancerOnto*. O *Tutor service* orienta o aprendiz através de etapas presentes em um fluxograma a fim de orientar a interpretação das mamografias. Por ultimo, o *SimDiag service* garante que o especialista analise todas as etapas necessárias para o diagnóstico do câncer [79].

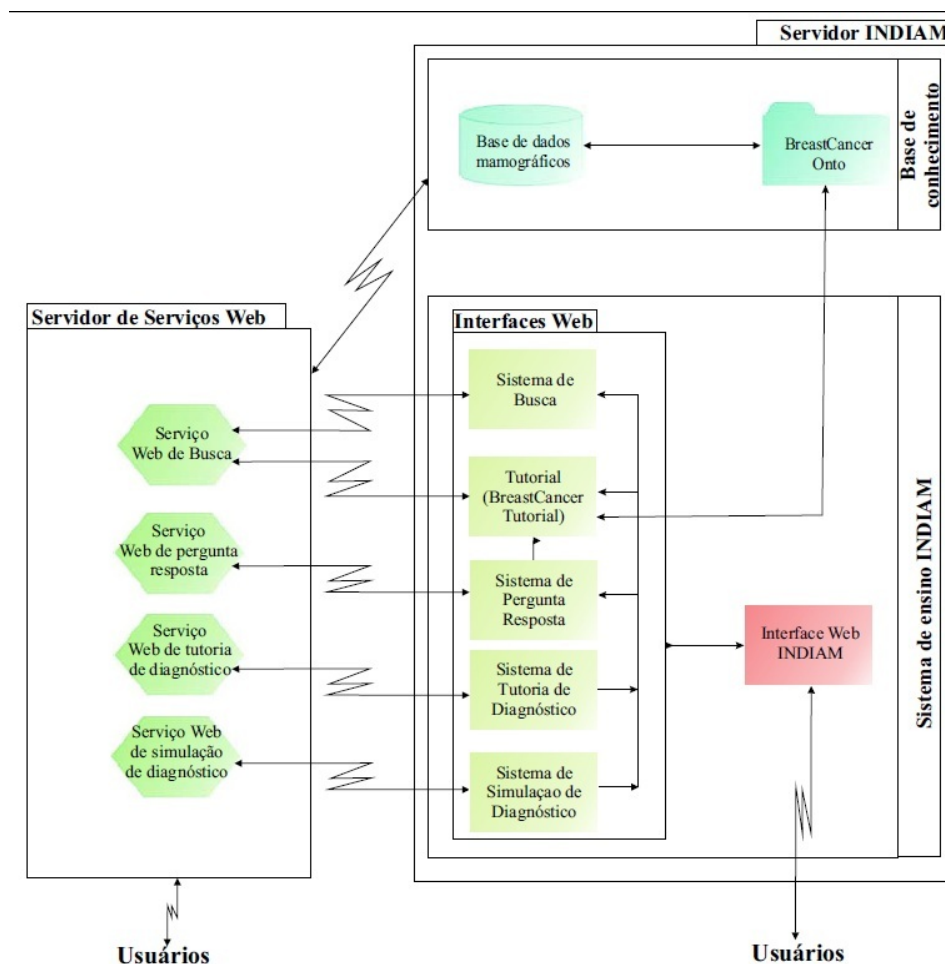


Figura 2.11: Exemplificação de sistema baseado em ontologias e *web service* [79].

2.5 Realidade Virtual

O desenvolvimento de computadores e dispositivos eletrônicos permitiram o surgimento de uma área denominada RV [80]. Essa tecnologia consiste na elaboração de mundos virtuais ou artificiais com o uso de alta tecnologia, para convencer o usuário de que ele se encontra em uma outra realidade [81].

Um sistema de RV deve possuir alguns requisitos, tais como: *interface* de alta qualidade, para se aproximar ao máximo do mundo real e permitir uma interação mais intuitiva; alta interatividade, permitindo ao ambiente reagir de forma adequada de acordo com as ações dos usuários; imersão, consistindo na sensação oferecida a um participante de uma simulação de estar dentro do mundo virtual; envolvimento e uso da intuição, que consiste em oferecer condições para que o usuário se concentre e realize atividades como no mundo real; analogia e ampliação do mundo real, permitindo que o Ambiente Virtual seja definido como o mundo real, com acréscimo de aspectos que não são encontrados neste último [82].

As aplicações de RV são empregadas em diversas áreas do conhecimento, tais como: mecânica, treinamento militar, entretenimento, medicina, entre outras, uma vez que é capaz de proporcionar certas vantagens que seriam difíceis de serem alcançadas no mundo real, por exemplo, estudo de simulações físicas ou reações químicas em tempo real [83].

Dentro da área médica, existem diversas linhas de estudo de RV como a educação médica, planejamento, simulação de cirurgias e reabilitação [84]. Em ambientes gerados por computador pode haver uma interação entre ser humano e máquina que possibilite navegar, visualizar, selecionar e manipular objetos dentro do mundo virtual como se o usuário estivesse no mundo real. Esses ambientes criados com técnicas de RV podem ser de grande auxílio no treinamento médico [85].

A interação pode ser efetuada por meio de diversos dispositivos. Existem os dispositivos chamados de "convencionais" como a tela de vídeo, *mouse*, teclado, e aqueles denominados "não convencionais" como luvas, capacetes e dispositivos hápticos. Para atingir um grau de realismo mais elevado, um *feedback* tátil propiciado por dispositivos hápticos pode ser uma solução interessante, principalmente em simuladores cirúrgicos [86]. Este tipo de dispositivo permite a correta compreensão dos detalhes, dimensões, texturas e propriedades físicas, tais como seu peso, rigidez e elasticidade da estrutura em estudo.

A visualização e a navegação são de fundamental importância no ensino da anatomia humana, já que a educação médica é fortemente orientada a imagens. A maioria dos sistemas de ensino 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 [3].

Atualmente, o desenvolvimento de simuladores de procedimentos cirúrgicos e *hardware* de contato é uma necessidade da área da Saúde. Mas só algumas poucas empresas vêm investindo nesse

ramo, como a *SensAble - Technologies for haptic devices* [87], a *Sensorray - Embedded electronics* [88], a *Mpb-Technology* [89] e a *Force Dimension - Technologies for haptic devices* [90], bem como a *Simbionix* [7], que desenvolve simuladores para diversos procedimentos cirúrgicos. Entretanto, tais plataformas são proprietárias e pagas. Nesse sentido, já existe um *framework*, CHAI 3D [91], de característica *OpenSource*, que possibilita a construção de *interfaces* 3D com interação háptica.

A construção de tais simuladores de procedimentos cirúrgicos envolve um conjunto de passos e pré-requisitos técnicos, a fim de atender as exigências da área médica, tais como: compatibilidade das estruturas em 3D com os detalhes existentes nos livros técnicos e atlas de anatomia; mecanismo técnico para correta compreensão dos detalhes, dimensões, texturas e propriedades físicas, tais como seu peso, rigidez e elasticidade; elevado grau de realismo; simulação com caráter educativo; informações textuais sobre o procedimento em estudo. Nesse aspecto, as seções a seguir buscam retratar o estado da arte das técnicas utilizadas em simuladores.

2.5.1 Simuladores de Procedimentos Cirúrgicos

Segundo Almeida [92], um dos fatores que levaram ao atraso por parte da Medicina na adoção de computadores, era a baixa capacidade de processamento em relação a grande quantidade de informações produzidas. Porém, com novas arquiteturas dos computadores, capazes de processar e armazenar informações em larga escala e a melhoria das redes de computadores, a tecnologia computacional tem auxiliado a Medicina a quebrar barreiras e paradigmas construídos no passado.

Waterworth [93] afirma que a construção de aplicações médicas de RV foi estimulada inicialmente pela necessidade de médicos em relação à visualização de dados complexos, particularmente para o planejamento e realização de cirurgias, educação e treinamento médico. Estas aplicações se estenderam e, hoje, incluem telemedicina, no sentido de envolver o compartilhamento de informações por pessoal médico e por locais geograficamente distantes [94].

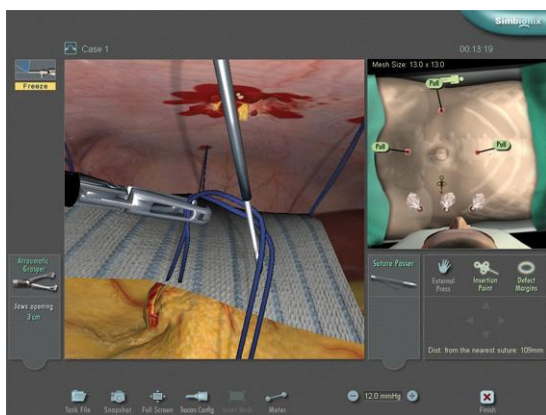
Mahoney [95] salienta que ainda existem obstáculos para a utilização de simuladores de cirurgia baseado em computador, principalmente dentro da comunidade médica, pois a grande preocupação dos médicos fica em torno do quão real a simulação se apresentará. No entanto, alguns já começam a ser utilizados, como é o caso da escola de Medicina *Penn State's College of Medicine*, que por meio do projeto denominado *Research Project in Surgical Simulation*, começa a treinar alunos de Medicina com uso de simuladores baseados em computador [95][94]. No Brasil, em 2007, a Universidade de São Paulo (USP) inaugurou um centro de treinamento cirúrgico que empregada o uso de simuladores virtuais no treinamento de procedimento de Urologia e Laparoscopia [96].

Monserrat [97] apresenta algumas vantagens no uso de simuladores cirúrgicos frente aos métodos convencionais de treinamento, quais sejam:

- reduz custos associados com a utilização de cadáveres e animais vivos;
- oferece ganho de experiência aos médicos através de uma grande variedade de patologias e procedimentos complexos;

- permite a visualização dos procedimentos realizados com o objetivo de se estudar as vantagens da técnica e/ou melhorias que podem ser introduzidas na mesma;
- permite a repetição do mesmo procedimento tantas vezes quanto forem necessárias para aprimorá-lo antes de utilizá-lo em pacientes reais;
- permite o conhecimento e o planejamento sobre a anatomia do paciente específico previamente à sua intervenção cirúrgica.

Pesquisadores, universidades e empresas, têm dedicado esforços no desenvolvimento de aplicações para treinamento médico como uma alternativa efetiva e eficiente para os métodos de treinamento tradicionais como pode ser observado nos simuladores já comercializados pela *Simbionix* exemplificados nas Figuras 2.12(a) e 2.12(b) e as empresas *Hansen Medical* e *Sensible* dispostos nas Figuras 2.13(a) e 2.13(b), respectivamente.



(a) Simulador de Laparoscopia



(b) Simulador de Urologia

Figura 2.12: Simuladores de Procedimento Cirúrgico Comercializados pela Simbionix [7].



(a) Simulador de Cateterismo



(b) Simulador de Punção Lombar

Figura 2.13: Simuladores de Procedimento Cirúrgico Comercializados pela Hansen Medical e Sensible [8] [87].

Em relação a simulação de procedimentos de punção do tecido mamário, o Hospital Universitário de *Kyushu* junto com pesquisadores dos departamentos de ciência, inovação e medicina

desenvolveram um sistema de visualização 3D [98] baseados em modelos de ressonância magnética gerados e processados pelo *software 3D Slicer* [99]. Este simulador permite a visualização 3D da mama, como pode ser observado na Figura 2.14(b) auxiliando a execução do procedimento de punção, assim como o aprendizado devido a inserção de uma *interface* robótica que simula a existência de tumores para estudo, como representado na Figura 2.14(a).

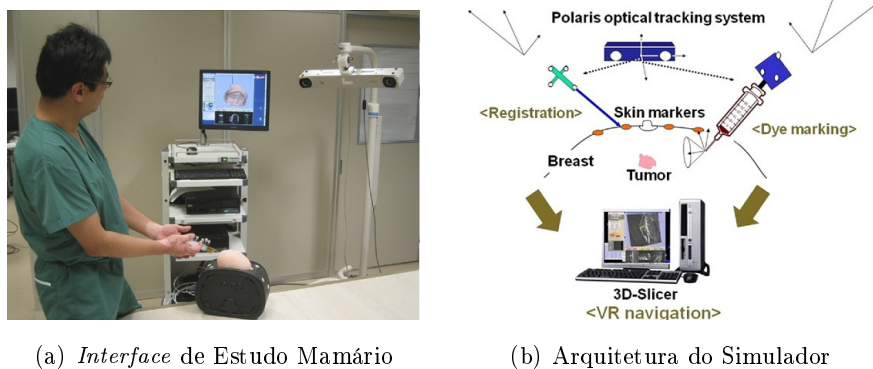


Figura 2.14: Simuladores de Punção Mamária [98].

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 [100].

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 Estados Unidos da América, a legislação limita a participação de residentes em procedimentos médicos, o que aumenta ainda mais o tempo necessário para um treinamento de qualidade [100].

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 estes procedimentos, sendo exposto a uma infinita variedade de situações e patologias, sem nenhuma pressão externa e, ainda, acompa-

nhado 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 [100].

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 destes 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 de procedimentos médicos 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 será melhor abordado na próxima seção [100].

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 [100].

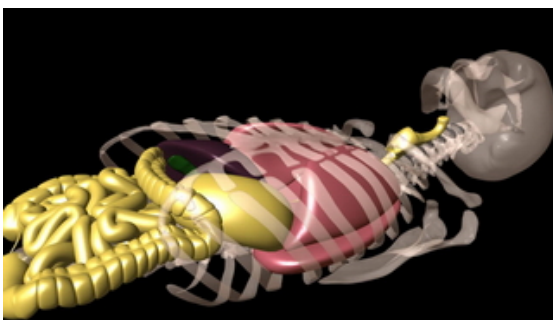
O primeiro pré-requisito de um simulador destinado ao treinamento de procedimentos médicos é ser dotado de uma *interface* que imite de forma muito próxima a configuração real que o especialista vai encontrar num contexto real. Cada procedimento tem suas características, definidas pelo equipamento a ser utilizado no procedimento e a forma de contato com o paciente. Dispositivos semelhantes 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 [3].

2.5.2 Requisitos Tecnológicos

Baseado nos requisitos anteriores é possível identificar algumas tecnologias que já são requisitos intrínsecos desse tipo de ambiente:

- biblioteca de processamento 3D multiplataforma de alto desempenho;
- diferentes padrões de importação de modelos 3D, assim como texturas e matérias;
- arquitetura de computadores voltada a computação gráfica;
- processamento distribuído ou clusterizado;
- redes de comunicação de alto desempenho;
- *interface* háptica;
- dados da simulação armazenada em padrão flexível e simplificado, representado a hierarquia do ambiente.

O projeto do *Institut National de Recherche en Informatique et en Automatique* (INRIA) intitulado *Simulation Open Framework Architecture (SOFA)* [101] tem a finalidade de prover uma biblioteca para a simulação de comportamentos físicos em ambientes 3D, disponível para plataforma Windows, Linux e Mac OS e disponibilizado sobre a licença GPL. O SOFA teve início em 2006, desenvolvido em C++ e encontra-se na versão 1.0 beta quatro. A arquitetura é baseada no conceito de cena gráfica, onde a estrutura principal denominada *root*, abriga as demais estruturas da simulação e do ambiente 3D. As demais estruturas da árvore são: *deformableBody*, *rigidBody* and *ridigParticles*. Todas as informações da cena gráfica são representadas em arquivos no padrão XML. As simulações com essa biblioteca já apresentam resultados promissores como pode ser observado nas Figuras 2.15(a) e 2.15(b).



(a) SOFA: Simulação de Laparoscopia



(b) SOFA: Simulação de Cateterismo

Figura 2.15: Uso da biblioteca SOFA em procedimentos cirúrgicos [101].

O grupo de computação e robótica da Universidade de *Stanford* desenvolveu CHAI3D [102], construído em C++ com licença GPL e suporte a ambientes Windows, Linux e Mac. O projeto CHAI3D visa disponibilizar uma biblioteca de visualização, navegação e interação tridimensional,

como pode ser observado na Figura ??, tendo como ponto destaque o processo de interação háptica sobre superfícies triangularizadas em ambientes 3D. O CHAI3D encontra-se na versão 2.0.0 e também é estruturado no conceito de cena gráfica. Um ponto comum entre as duas arquiteturas e de relevância para a construção de ambientes de simulação, consiste na separação do processamento em camadas distintas e assíncronas, isto é um processo responsável pela renderização visual com uma taxa entre 20 a 30 Hz, outros pela simulação com taxa de 25 Hz e, o último, a renderização háptica com taxa de 300 a 1000 Hz. A comunicação entre os processos assíncronos é feito via memória compartilhada, mas não impede que a mesma possa ser via rede em uma estrutura de *cluster*, efetivando uma real segregação do processamento.

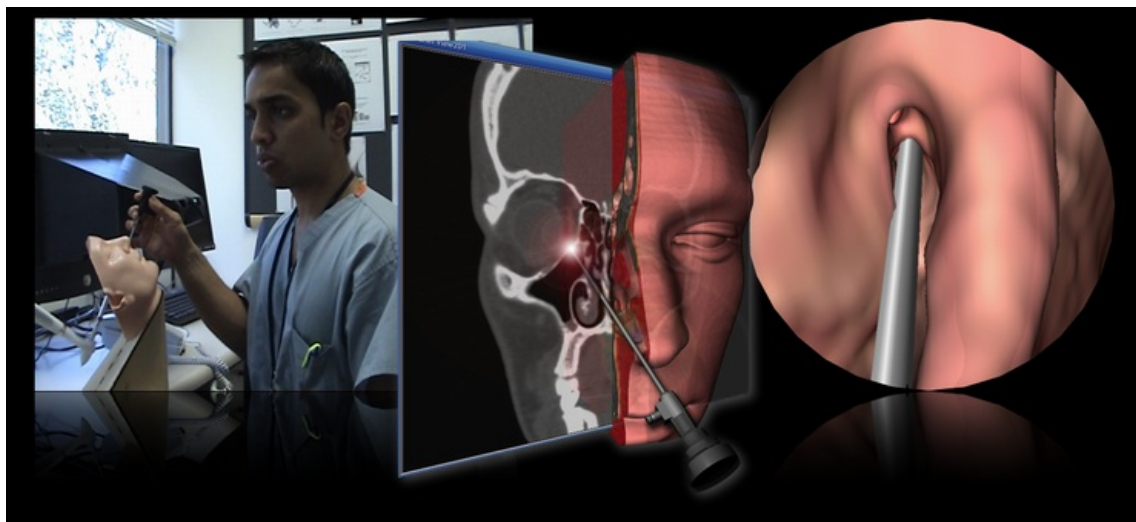


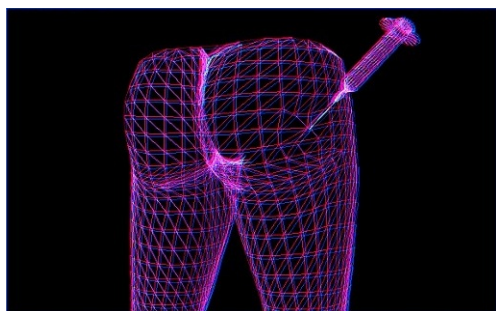
Figura 2.16: Simulação de Rinologia com a biblioteca CHAI3D.

O Centro Universitário Eurípides de Marília (UNIVEM) desenvolveu trabalhos ligados a simulações médicas. Um dos trabalhos é o ViMeT (*Virtual Medical Training*) [103] que vem sendo aprimorado, permitindo a visualização, navegação e interação em ambiente tridimensional. A biblioteca proposta baseou-se em Java3D [104], uma API desenvolvida pela *Sun Microsystems*, para renderizar gráficos interativos 3D usando a linguagem de programação Java. A API Java 3D oferece um conjunto de classes que permite o desenvolvimento de aplicações 3D em alto nível, utilizando-se de recursos como criação e manipulação de geometrias 3D, animações e, ainda, interatividade com dispositivos convencionais e não convencionais [104], como pode ser observado nas Figuras 2.17(a) e 2.17(b).

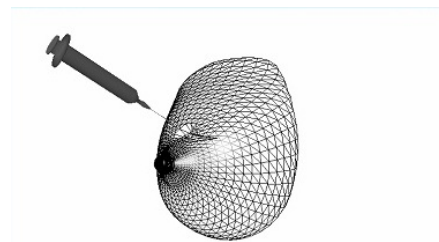
Um dos requisitos de implementação do ViMeT foi deixá-lo com uma estrutura de classes que facilitasse a integração de novas funcionalidades e de outros dispositivos de interação. Esse objetivo foi alcançado de maneira satisfatória com auxílio do paradigma de Orientação a Objetos, utilizando-se a linguagem de programação Java e sua API Java3D. Dessa maneira, comprovou-se que com um *framework* é possível evitar a dependência de um único desenvolvedor [103].

Uma característica importante do ViMeT é o uso de um módulo customizado que facilita a instanciação do ViMeT no que diz respeito a alterações de parâmetros, mostrando que a manipulação destes parâmetros no BD é simples e rápida e não implica em perda do desempenho do simulador.

O código-fonte gerado pela Wizard com a extensão .java pode ser adaptado por desenvolvedores familiarizados com a linguagem de programação Java para customizar novas aplicações. A aplicação gerada por meio da Wizard pode ser gerada inúmeras vezes até ser obtido o resultado esperado [103].



(a) ViMeT: Visualização e Interação 3D



(b) ViMeT: Simulação de punção

Figura 2.17: Uso da biblioteca ViMeT em procedimentos cirúrgicos [103].

Dentre os *frameworks* estudados, foi realizada uma análise das características que auxiliaram no desenvolvimento desse trabalho e representadas na Tabela 2.3.

Tabela 2.3: Comparação de Bibliotecas Gráficas 3D - (0) Biblioteca 3D, (I) Multiplataforma, (II) Recompilação Exigida, (III) API BASE 3D, (IV) Métodos de Colisão, (V) Métodos de Deformação, (VI) Linguagem de Programação, (VII) *Hardware* Integrados, (VIII) Padrão de Importação de Mesh's, (IX) Processamento Distribuído

0	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
SOFA	Sim	Sim	Opengl Ogre	AABB Tree Brute Hierarchical GPU-Base Spheres	FEM Sp Mass FFD	C++		OBJ	Não
CHAI3D	Sim	Sim	Opengl	AABB Tree Brute Spheres	GEL	C++	Phamton Delta Omega	OBJ 3DS RAW TGA	Não
ViMeT	Sim	Não	Java3D	Java 3D Colisi sons Method	Sp Mass	Java	Phamton Data Glove	OBJ	Não

2.5.3 Arquiteturas Correlatas de Integração

Um ponto de vital importância na construção de simuladores consiste na concepção de sua arquitetura, pois conforme apresentado nas sessões anteriores, este tipo de *software*, interage com diferentes tecnologias, muitas vezes distribuída e com tempos de resposta diferenciados sobre cada processo que compõe o simulador. A arquitetura proposta por Liu [105] disposto na Figura 2.18(a), enfatiza a interação entre o processo de renderização, interface háptica, reconstrução de modelos baseados em tomografias e secção de superfícies, além de apresentar a arquitetura de *hardware* utilizada para garantir o desempenho do simulador representado na Figura 2.18(b).

Nessa arquitetura o dispositivo háptico, *Phantom Omni*, fornece seis (6) graus de liberdade, entre as coordenadas e ângulos de cada ponto utilizados para posicionar a simulação do instrumento cirúrgico, processados por uma rotina de renderização gráfica que realiza a reconstrução de cada *voxel* da imagem tomográfica e o processo de colisão e deformação gerado pelo contato háptico. Uma característica importante dessa arquitetura consiste na possibilidade de seccionar superfícies gerada pelo contato háptico utilizando o algoritmo *Marching Cube* para reconstrução do *voxel*. Contudo, a arquitetura em questão não apresenta interação com informação textual, formalizando sobre o domínio do conhecimento em estudo.

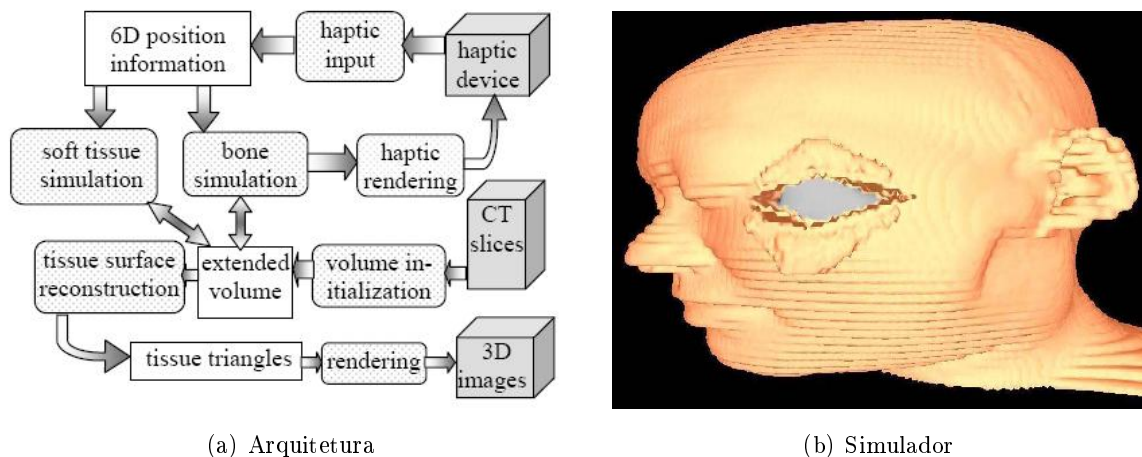


Figura 2.18: *Virtual Reality Facial Contouring Surgery Simulator* [105].

A arquitetura proposta por Pandit [106] é disposta na Figura 2.19 ao contrário da anterior que não provê uma interação entre o domínio textual do conhecimento, propõe um relacionamento entre ontologias, máquinas de inferência e um processo de aprendizado. Nessa arquitetura o aprendiz acessa via servidor *web* uma *interface* que possibilita a consulta e a navegação no domínio do conhecimento, processado por uma máquina de inferência. Entretanto, esta arquitetura não disponibiliza uma interação com ambientes 3D. Ela também permite que o produtor do conhecimento, representado na Figura 2.19 como *Provider*, por exemplo, médicos, especialistas e estudantes, possam contribuir com a melhoria do conhecimento.

Essa arquitetura também permite que a produtor do conhecimento, representado na Figura 2.19 como *Provider*, como por exemplo, médicos, especialistas e estudantes, possam contribuir com a melhoria do conhecimento.

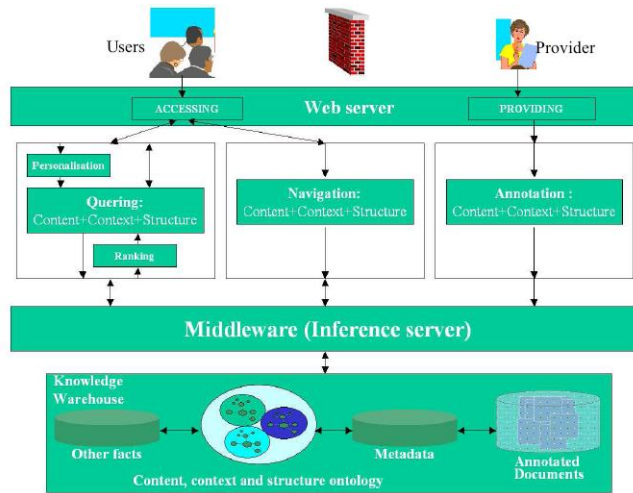


Figura 2.19: *Conceptual Semantic eLearning Portal Architecture* [106].

Um outro modelo de arquitetura é apresentado pelo grupo de robótica da Universidade de Stanford [102] destinado à construção de simuladores de interação háptica representado na Figura 2.20. A presente arquitetura divide o processo de simulação em três (3) processos colaborativos. O primeiro processo é responsável pela renderização visual, que realiza a comunicação com a placa gráfica do sistema operacional através de APIs de processamento gráfico, no caso *OpenGL*. Esse processo, além de realizar o controle do objeto de superfície triangularizada, também responde pelo controle das características do objeto presente na cena, como luminosidade, controle de câmera, texturização e controle de deslocamento.

O segundo processo é responsável pela renderização háptica, isto é, após a captação dos parâmetros gerados pela *interface* háptica e a detecção da colisão da *interface* com o objeto 3D, o processo de deformação é processado conforme o algoritmo selecionado para o processamento da resposta de colisão. O terceiro processo repassa a matriz de deformação do objeto ao processo de renderização gráfica.

Uma constatação desse grupo de robótica em relação ao controle dos processos é que a renderização gráfica deve rodar por volta de 60 Hz e que o de renderização háptica deve rodar por volta de 1000 Hz.

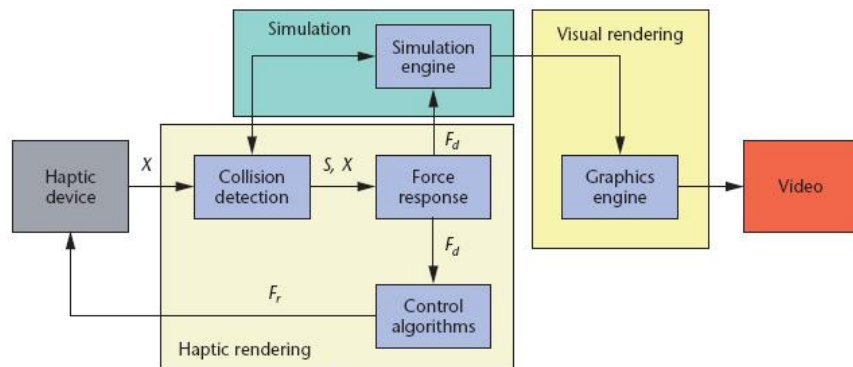


Figura 2.20: *Arquitetura CHAI3D* [102].

2.5.4 Detecção de Colisão e Deformação de Superfícies

Outros pontos precisam ser analisados e estudados antes da construção da arquitetura e posteriormente simulador, tais como colisão, deformação e secção da superfície, garantindo assim maior realismo a simulação dos procedimentos cirúrgicos em estudo nesse trabalho.

Detecção de Colisão

Detecção de colisão é um ingrediente fundamental em aplicações de computação gráfica assim como em simulações que envolvem princípios físicos que lidam com vários objetos geométricos na mesma cena. Em ambientes 3D, basicamente consiste em fazer com que cada triângulo da malha seja testado contra os outros triângulos de todos os objetos em cena, inclusive da própria malha (autocolisão). Cada parte de um triângulo (vértices, arestas e faces) deve ser testada contra cada parte dos outros triângulos, resultando em seis tipos de testes, dos quais apenas dois tipos são imprescindíveis para uma correta detecção que preserve o realismo: os vértices de um triângulo contra as faces de outro (e vice-versa, conhecido como *Vertex-Face*) e as arestas de um triângulo contra as arestas de outro (e vice-versa, conhecido como *Edge-Edge*) [107].

O processo de colisão é responsável por (i) identificar se dois objetos da cena colidem e, (ii) identificar as condições da colisão (direções, momento, ângulo, etc.). É um problema que demanda esforço computacional, pois precisa avaliar a relação de todos os objetos com todos os demais, o que implica num crescimento exponencial da demanda computacional, diretamente relacionada com a complexidade da cena (número de objetos e número de triângulos constituintes destes objetos)[108].

Em particular, o tratamento da colisão se divide em duas fases distintas: a detecção de colisão e a resposta à colisão. O principal objetivo dos algoritmos para a detecção de colisão é encontrar eventuais ocorrências de contato entre objetos. Essa tarefa não é trivial e tem se caracterizado como o grande desafio das atuais aplicações que simulam ambientes gráficos interativos. Os algoritmos de resposta, por sua vez, possibilitam ao ambiente gráfico a modificação do comportamento dos objetos envolvidos na colisão, de forma a garantir que as ações efetuadas pelos objetos colidentes sejam as mais próximas da realidade, para um dado cenário [109] [110].

A grande quantidade de testes de colisão somada à grande quantidade de cálculos exigidos nesta atividade coloca a tarefa de detecção de colisão como um dos grandes gargalos a ser superado pelas aplicações em tempo real atuais em RV. Paralelamente, os algoritmos de resposta à colisão também demandam muito esforço computacional, diretamente vinculado ao número e aos tipos de objetos sendo modelados (deformável, rígido, articulado) e às suas principais características físicas (elástico, não-elástico, viscoso). Um dos grandes problemas ainda a ser enfrentado é o de minimizar os cálculos, melhorando o tempo de resposta, sem perder a precisão [109].

O número máximo estimado de objetos pertencentes a um ambiente gráfico determina, muitas vezes, o processo de detecção de colisão mais apropriado. Por exemplo, quando existe somente um par de objetos no ambiente, o teste de detecção de colisão pode utilizar processamento de pares (*pair processing*) [111]. Entretanto, quando existem muitos objetos no ambiente, o método de verificação da ocorrência de colisão deve estar apto a considerar todos os objetos pertencentes ao ambiente no teste (*n-body processing*) de forma a gerar uma lista de pares de objetos com potencial

de colisão para, posteriormente, realizar o processamento de pares [112][110].

O componente de movimentação dos objetos também deve ser considerado, pois a existência de objetos estáticos e de objetos dinâmicos exige que o ambiente realize consultas sucessivas à medida que os objetos sofrem algum tipo de transformação geométrica na sucessão de passos de tempo. Assim como o grau de complexidade dos objetos inseridos na cena influencia diretamente no desempenho do ambiente gráfico gerado, pois na medida em que aumenta-se a complexidade dos objetos (nível de detalhamento), aumenta-se o número de testes necessários para a determinação da ocorrência de colisão [113].

Por fim, o ambiente gráfico deve ser robusto o suficiente para tratar a interação entre diferentes tipos de objetos que possam sofrer algum tipo de deformação durante a simulação, fazendo com que o ambiente tenha a necessidade de reconhecer essas deformações e responder satisfatoriamente a essas alterações geométricas e de atributos sofridas pelos objetos [113] [110].

Diversos trabalhos têm sido propostos para resolver o problema da detecção de colisão. Esses trabalhos apresentam uma vasta quantidade de técnicas que abrangem representação hierárquica, raciocínio geométrico, formulação algébrica, particionamento espacial, métodos analíticos e métodos de otimização.

Os objetos poligonais são os modelos mais comumente utilizados na modelagem geométrica em computação gráfica. São modelos de simples representação, versáteis e possuem suporte a diversos equipamentos de aceleração para renderização de polígonos. Estes objetos podem ser classificados segundo a representação por decomposição ou envoltórios volumétricos como disposto na Fig 2.21.

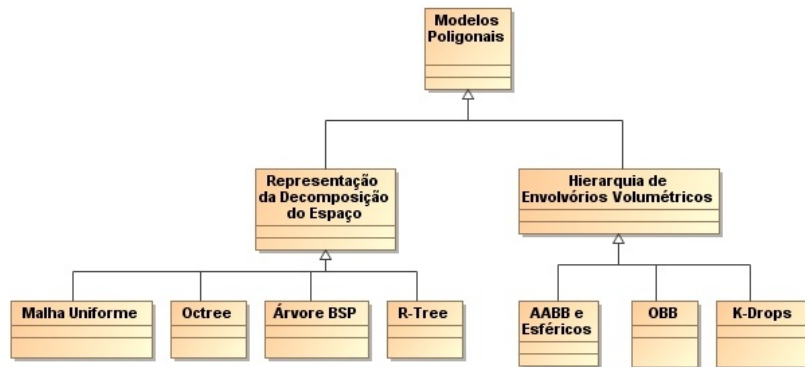


Figura 2.21: Classificação dos modelos de detecção poligonais [114].

Nos modelos poligonais, o processo de detecção de colisão busca simplificar a forma do objeto modelado (através da utilização de envoltórios volumétricos que envolvem o objeto) e construir uma estrutura auxiliar de representação do ambiente que forneça filtros e possibilidade de pesquisa que minimizem o esforço computacional do processo.

Após a colisão identificada por um dos algoritmos exemplificados na Figura 2.21 é necessário definir o modelo de resposta baseando-se nas características do objeto (deformável, rígido, articulado) e nas características físicas do mesmo (elástico, não-elástico, viscoso).

Deformação de Superfícies

O realismo é um elemento fundamental quando trata-se de visualização de fenômenos físicos em computação gráfica. No caso dos tecidos biológicos, as suas propriedades mecânicas dependem da sua composição mineral. É notório que em função do seu conteúdo mineral, pode-se, em geral, distinguir duas (2) classes de tecidos biológicos. Por exemplo, ossos e dentes contêm minerais e formam parte do grupo que é denominado de tecidos duros. Enquanto que, pele, músculo, artérias e pulmões formam um segundo grupo, chamado de tecidos suaves. Estes últimos não contêm minerais e por esta razão são bem mais deformáveis do que os tecidos duros.

As deformações ocorrem quando o corpo é submetido à ação de forças, entendendo-se por deformação de um corpo uma alteração na forma ou nas dimensões do corpo considerado. Essas deformações podem ser de vários tipos - compressões, distensões, flexões, torções, etc. - podem ser elásticas ou plásticas. Uma deformação é dita elástica quando desaparece com a retirada das forças que a originaram, enquanto que uma deformação plástica é uma que persiste mesmo após a retirada das forças que a originaram.

Atualmente, muitos estudos vêm sendo desenvolvidos no sentido de modelar objetos não-rígidos, ou seja, objetos que possuem características elásticas, por exemplo, o tecido mamário em estudo nesse trabalho. Dentre estes estudos, tem-se pesquisado tanto modelos geométricos, cujo movimento é controlado através da cinemática, como modelos baseado em outros atributos físicos, isto é, massa, força e torques e com movimento controlado pela dinâmica [94].

Aplicações de simulação em tempo real destinadas à visualização, navegação e interação 3D ligados à área da saúde, têm demandado pesquisas de modelagem do comportamento mecânico de tecidos biológicos suaves, procurando por um cálculo preciso e em tempo real da deformação do tecido. A técnica de Elementos Finitos é baseada em modelos constitutivos que avalia a natureza contínua dos tecidos, auxiliando a correta simulação do comportamento mecânico dos tecidos [115]. Por outro lado, como alternativa, também tem sido utilizados os modelos discretos baseados em modelos massa-mola [116] [117].

Em relação à deformação geométrica, Barr introduziu a modelagem geométrica de deformação em objetos sólidos, através da manipulação de operadores sobre dados abstratos [118]. Sederberg e Parry, introduziram o conceito de deformação em formas livres (*Free-Form Deformation - FFD*), o qual permite esculpir modelos sólidos [119]. Além da técnica FFD, outros modelos ganharam destaque tais como: *Animated Free-Form Deformation (AFFD)*, *Curvas de Bézier*, *Curvas B-Splines*, *Curvas de Hermite* e *Curvas de Catmull-Rom*. Estas operações têm a capacidade de simular torções, curvaturas, afunilamentos e outras transformações sobre objetos geométricos.

A técnica geométrica mais utilizada é a FFD, que permite deformar um sólido sem que seu volume seja alterado. Seu funcionamento baseia-se em mapeamento R^3 para R^3 através de aplicações dos polinômios de Bernstein [120]. Portanto, pode-se dizer que não se trata de deformação de um objeto e sim do universo onde está inserido. A atuação do método FFD pode ser exemplificada nas Figuras. 2.22(a) e 2.22(b).

O primeiro modelo de objetos deformáveis baseado em física foi o desenvolvido objetivando a

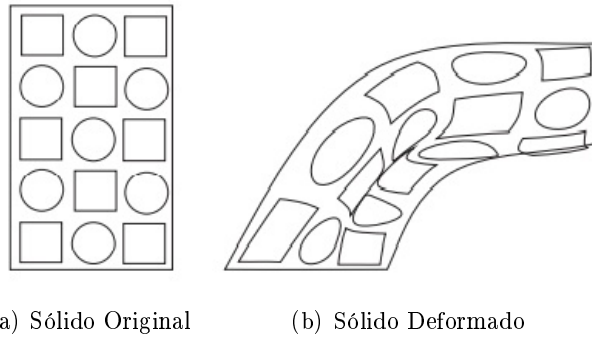


Figura 2.22: Atuação do método *Free-Form Deformation* em uma superfície 2D [94].

simulação estática da realidade. Weil [121], propõe a modelagem de roupas, através da interpolação de superfícies entre curvas, a fim de simular roupas penduradas por pontos. Barr, Terzopoulos, Platt e Feisher usaram componentes moleculares discretos, para modelar o comportamento elástico dos objetos. Estes componentes podem ser visto como pontos de massa interconectados através de molas com atributo de dureza e amortecimento baseados nas propriedades físicas dos objetos [122]. Terzopoulos e Feisher ainda estenderam seu modelo, incluindo componentes flexíveis e rígidos, bem como a simulação de comportamento inelástico [122].

O método massa-mola considera que o corpo físico é composto por um conjunto de partículas M_i conectadas através de molas. Estabelece-se também que inicialmente as forças elásticas e de atrito entre partículas reagem linearmente. Para cada instante de tempo da simulação calcula-se a aceleração, a velocidade e a nova posição de cada massa.

O método massa-mola é reduzido no pseudo-código exposto na Figura 2.23.

Algoritmo 1 : Update()

```

para cada instante faça
  para cada  $P_{i,j}$  faça
    Calcular aceleração de  $P_{i,j}$ ;
  fim para
  para cada  $P_{i,j}$  faça
    Calcular velocidade de  $P_{i,j}$ ;
    Calcular nova posição de  $P_{i,j}$ ;
  fim para
  Renderizar o modelo;
fim para

```

Figura 2.23: Pseudocódigo do Algoritmo de Deformação Massa Mola [117].

Uma deformação é dita "elástica", quando após removidas todas as forças externas, o objeto retorna completamente à sua forma inicial. Para simular um objeto com características elásticas, pode-se utilizar uma aproximação energética. Como uma generalização de uma mola ideal, um modelo elástico possui energia potencial durante a deformação. As deformações "inelásticas" são genericamente como aquelas que não obedecem às leis da elasticidade clássica, ocorrendo em ma-

térias reais, quando estes submetidos a temperaturas ou forças que excedem certos valores limites, alterando irreversivelmente a sua forma [123].

Outros autores têm abordado a deformação de objetos baseados em leis da física. Dentre os modelos desenvolvidos, pode-se salientar os métodos baseados em restrições, apresentados por Platt e Barr [124] e em seguida por Metaxas e Terzopoulos [125]. A simulação de tecidos foi abordada ainda por Dias e Rebordão [126], onde é apresentado um modelo energético para simulação estática e por Carignan, Yang, Magnenat-Thatmann [127] com a simulação de um modelo dinâmico para simular tecidos complexos.

Métodos baseados em elementos finitos consistem em análise de modelos matemáticos de problemas físicos em meios contínuos. Essa modelagem é normalmente feita através de equações diferenciais ou equações integrais. Trata da divisão do domínio de integração em um número finito de pequenas regiões denominadas de "elementos finitos", transformando o contínuo em discreto. A técnica de elementos finitos pode ser basicamente dividida em cinco etapas básicas: (i) Discretizar a região em elementos e nós em relação a um sistema de coordenadas, (ii) Especificar uma equação aproximada para relacionar os nós dos elementos, (iii) Desenvolver o sistema de equações para cada nó, como Método de Galerkins [128], Formulação de Energia Potencial, (iv) Resolver o sistema de equações do conjunto de nós e (v) Calcular as quantidades de interesse: deslocamentos, componentes de tensões, temperaturas, velocidades de fluidos e suas respectivas taxas (derivadas).

O método de elementos finitos tem como vantagem os seguintes pontos: (i) Pode ser facilmente utilizado em regiões irregulares, (ii) Facilidade de trabalhar com material não homogêneo, (iii) Permite o uso de diferentes tipos de condições de contorno, (iv) Resolve problemas em regime permanente e não permanente, (v) Resolve problemas envolvendo meio físico com propriedades não lineares e (vi) Permite desenvolver programas de computador de uso mais abrangente.

Pesquisas mostram que métodos de Elementos Finitos baseados na aproximação do contínuo são apropriados para descrever de modo mais realístico o comportamento mecânico dos tecidos deformáveis. Entretanto, modelos baseados em massa-mola são computacionalmente econômicos [117].

A simulação de procedimentos cirúrgicos envolvendo deformação, além de atender as necessidades da área médica, faz-se necessário que o método escolhido para deformação não cause impacto na simulação em tempo real. Nesse sentido, é interessante o uso de métodos híbridos que procuram compartilhar as melhores características dos métodos geométricos e Físicos, por exemplo, o LEM (*Long Element Method*) [129], que utiliza um conjunto de equações estáticas para elementos longos e variáveis globais, como pressão e densidade.

Especificamente em relação à deformação do tecido mamário e as características envolvidas na deformação da superfície tais como os líquidos e diferentes camadas de gordura, o método capaz de retratar este sistema é o LEM®. O método consiste em dividir o objeto em elementos longos, que vão de um lado ao outro da sua superfície. Dessa forma, o número de equações que deve ser resolvido é proporcional à área da superfície do objeto, e não ao seu volume como nos métodos tradicionais. Para cada elemento longo escreve-se uma equação estática para variáveis globais (por exemplo, pressão e densidade) ao invés de variáveis pontuais (força e massa) [129].

A aplicação do princípio de Pascal (a pressão é transmitida igualmente em um fluido confinado) e da conservação do volume permite a solução do sistema de equações e torna possível uma simulação real do ponto de vista físico e rápida (tempo-real) computacionalmente. A deformação global é calculada com precisão levando em conta fenômenos importantes e de difícil simulação, como o movimento de todas as partes do sólido devido à preservação do volume e os efeitos da gravidade. A Figura 2.24 representa o modo como o LEM trata a deformação, levando em conta massas constituídas de partes sólidas e líquidas [129].

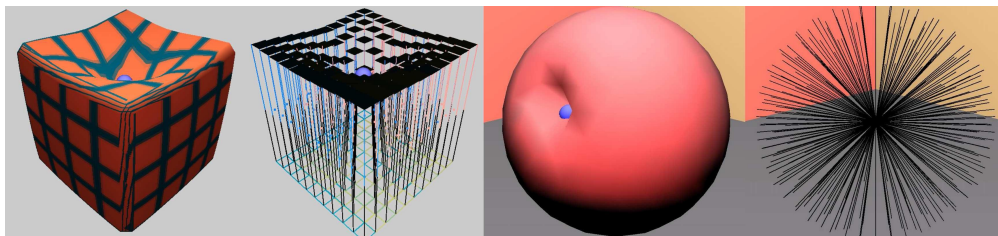


Figura 2.24: LEM: *Long Element Method* [129].

2.6 Arquitetura Orientada a Serviços

Arquitetura orientada a serviços é um estilo de arquitetura de software cujo princípio fundamental prega que as funcionalidades implementadas pelas aplicações devem ser disponibilizadas na forma de serviços. Frequentemente estes serviços são conectados através de um "barramento de serviços" que disponibiliza *interfaces*, ou contratos, acessíveis através de *web services* ou outra forma de comunicação entre aplicações [130].

A arquitetura *Service-Oriented Architecture* (SOA) é baseada nos princípios da computação distribuída e utiliza o paradigma *request/reply* para estabelecer a comunicação entre os sistemas clientes e os sistemas que implementam os serviços [131]. Além da perspectiva estritamente técnica, a arquitetura orientada a serviços também se relaciona com determinadas políticas e conjuntos de "boas práticas" que pretendem criar um processo para facilitar a tarefa de encontrar, definir e gerenciar os serviços disponibilizados [132].

A arquitetura orientada a serviços também se insere em um processo de reorganização dos departamentos de tecnologia da informação das organizações, permitindo um melhor relacionamento entre as áreas que dão suporte tecnológico à empresa e as áreas responsáveis pelo negócio propriamente dito, graças a maior agilidade na implementação de novos serviços e reutilização dos ativos existe [133].

O SOA coloca a prestação de serviço como eixo de todo o negócio, dando destaque à gestão de serviços e ao cliente. Nesse ponto alguns quesitos sobre SOA são relevantes [130]:

- **serviço**: é uma função independente, sem estado (stateless) que aceita uma ou mais requisições e devolve uma ou mais respostas através de uma interface padronizada e bem definida. Serviços podem também realizar partes discretas de um processo tal como editar ou proces-

sar uma transação. Serviços não devem depender do estado de outras funções ou processos. A tecnologia utilizada para prover o serviço, tal como uma linguagem de programação, não pode fazer parte da definição do serviço;

- **orquestração**: processo de sequenciar serviços e prover uma lógica adicional para processar dados;
- **stateless**: não depende de nenhuma condição pré-existente. Os serviços não devem depender de condições de outros serviços. Eles recebem todas as informações necessárias para prover uma resposta consistente. O objetivo de buscar a característica de stateless dos serviços é possibilitar que o consumidor do serviço possa sequenciá-lo, ou seja, orquestrá-los em vários fluxos (algumas vezes chamados de pipelines) para executar a lógica de uma aplicação;
- **provedor**: o recurso que executa o serviço em resposta a uma requisição de um consumidor;
- **consumidor**: é quem consome ou pede o resultado de um serviço fornecido por um provedor;
- **descoberta**: baseia na capacidade de identificar serviços e suas características. Conseqüentemente, esta arquitetura depende de um diretório que descreva quais os serviços disponíveis dentro de um domínio;
- **binding**: a relação entre os serviços do provedor e do consumidor deve ser idealmente dinâmica; ela é estabelecida em tempo de execução através de um mecanismo de *binding*.

2.6.1 Serviços Web

A necessidade de troca de informações em rede e a interoperabilidade entre sistemas impulsionou o desenvolvimento de diversas tecnologias na área de sistemas distribuídos. Nesta linha, as tecnologias baseadas em *Web Services* representaram um grande avanço na realização da interação entre aplicações distintas, devido à simplicidade de implementação e utilização de tecnologias e protocolos abertos [134] [135].

Um *Web Services* pode ser entendido como um sistema de *software* projetado para suportar a interoperabilidade entre máquinas através de uma rede [136]. Utilizando essa tecnologia, as aplicações interagem de forma padronizada, enviando e recebendo dados em um formato pré-estabelecido, mesmo que sejam desenvolvidas em linguagens de programação diferentes [135].

Uma necessidade muito comum na área de computação é a integração de sistemas que possuem características diferentes como linguagem de programação e plataforma de desenvolvimento. Um exemplo é a necessidade de provimento de serviços na *Internet*, que se caracteriza por uma empresa ou entidade fornecer informações através de soluções em *software*, as quais podem ser consumidas por aplicações clientes [136].

Nesse contexto, surgiu o conceito de *Web Service* no ano 2000, introduzido pela *Microsoft Corporation*. *Web Services* referem-se a uma coleção de padrões que provem interoperabilidade e podem ser definidos como uma tecnologia em sistemas distribuídos que tem o intuito de solucionar o problema da comunicação entre aplicações diferentes [135]. Ela não é a primeira solução criada

para fornecer interoperabilidade entre sistemas através de uma rede de computadores, uma vez que *Common Object Request Broker Architecture (CORBA)* e *Remote Method Invocation (RMI)* são exemplos de outras tecnologias criadas com este objetivo. Porém, devido a algumas limitações das duas tecnologias, os *Web Services* têm se mantido como melhor opção para prover interoperabilidade, visto que possibilita comunicação entre aplicações que possuem diferente sistema operacional e linguagem de programação.

CORBA é uma arquitetura para comunicação muito utilizada em implementação de sistemas distribuídos heterogêneos, porém possui a desvantagem de, quando usada na *Internet*, necessitar algumas alterações específicas em *firewalls*, as quais nem sempre são possíveis. Outra desvantagem é a necessidade de implementação por parte de empresas, de uma camada de *software*, chamada de *Object Request Broker (ORB)*, necessária para implementação de aplicativos. Devido ao fato de diferentes empresas oferecem implementações diferentes de *ORB*, algumas vezes torna-se difícil a portabilidade entre plataformas de programação distintas [137]. Já a RMI é uma arquitetura de objetos distribuídos suportada pela Máquina Virtual Java, através de um *framework*. Embora o Java RMI permita interoperabilidade entre aplicações em ambientes distintos utilizando a *JVM*, esta dependência da Máquina Virtual Java torna-se uma desvantagem, pois a linguagem de programação utilizada nas aplicações restringi-se a Java. Portanto, o surgimento dos *Web Services* vem para resolver algumas limitações de outras tecnologias e fornecer uma maior possibilidade de interação entre plataformas de *hardware* e sistemas operacionais diferentes.

Os *Web Services* têm sido muito estudados e várias soluções são desenvolvidas, sendo definidos padrões pela *World Wide Web Consortium (W3C)*, *OASIS* e *Web Services Interoperability Organization (WS-I)*. Os *Web Services* utilizam protocolos e tecnologias abertas de comunicação e transporte, como *HyperText Transfer Protocol Secure (HTTPS)* [138], *Extensible Markup Language (XML)* [139] e *Simple Object Access Protocol (SOAP)* [140]. Dessa forma, essa padronização tem sido a chave para o sucesso dessa tecnologia [135]. Além disso, outras tecnologias, assim como CORBA e RMI são consideradas de maior complexidade e mais alto custo do que os *Web Services*. Segundo Martin Kalin (2009) [141], três (3) características distinguem os *Web Services* de outras tecnologias de *software* de sistemas distribuídos, que são:

- **infraestrutura aberta:** utiliza protocolos abertos de comunicação e transporte;
- **transparência de linguagem:** o aplicativo cliente pode ser implementado em uma linguagem de programação diferente da utilizada para implementar o serviço;
- **estrutura modular:** uma arquitetura de *Web Services* pode facilmente ser ampliada e novas entidades serem adicionadas na arquitetura.

Na arquitetura básica de *Web Services* pode-se identificar três (3) entidades e representada na Figura 2.25 [136]:

- **provedor de serviços:** é o criador do serviço e disponibilizador das informações;
- **registro de serviços:** trata-se de um local onde o provedor de serviços publica o *Web Service*;

- **consumidor**: entidade que consome as informações do provedor de serviços.

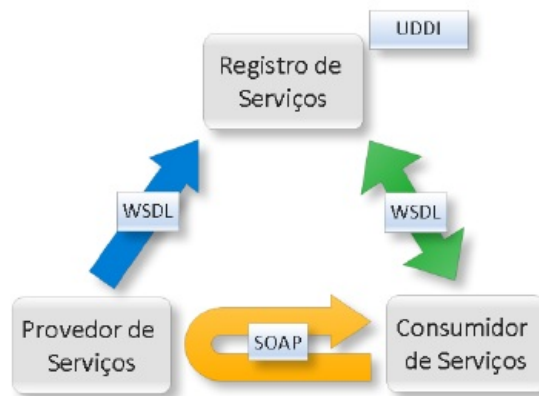


Figura 2.25: Arquitetura Básica de *Web Services* [136].

Analisando a arquitetura anterior, pode-se defini-lo como um *software* que permite trocar informações, o qual é descrito em WSDL, registrado em *Universal Description, Discovery and Integration (UDDI)* [142] e acessado através de SOAP [141]. A arquitetura não tem como objetivo especificar como os *Web Services* são implementados, nem impor restrições de como eles podem ser combinados, mas tem como intuito identificar os elementos necessários para garantir a interoperabilidade [136] [134].

O WSDL é uma linguagem baseada em XML utilizada para descrever o serviço, especificar o acesso e as operações disponíveis no *Web Service* [143]. Esta descrição do serviço funciona como um documento, ou seja, um contrato entre o provedor do serviço e o consumidor. Quando se procura um *Web Service*, o WSDL é a informação que se obtém do serviço e é através dele que se pode implementar o consumidor. As seções existentes no padrão WSDL são descritas a seguir [143]:

- **types**: descreve os tipos de dados do serviço;
- **message**: define as mensagens de requisição e resposta de cada método do *Web Service*;
- **portType**: define um *Web Service*, as operações que podem ser executadas e as mensagens utilizadas para executar as operações;
- **binding**: especifica um *portType* e define as operações. A seção *soap:binding* possui dois atributos importantes: *transport* e *style*. O atributo *transport* especifica o protocolo de transporte para a mensagem SOAP, o qual pode ser, por exemplo, HTTP ou SMTP. Já o atributo *style*, que é o estilo de vinculação do WSDL com a mensagem SOAP, pode ter os valores *rpc* ou *document* e ele define como os tipos de dados são utilizados no arquivo WSDL. Se o atributo tiver o valor *rpc* os tipos de dados são declarados nos elementos *part* da seção *message*, porém se o valor for *document* os tipos de dados são especificados em um documento XSD. Na seção *binding*, existe ainda o elemento *operation* que define uma

operação do serviço, o qual possui o elemento *input*, que representa a operação de entrada no serviço e o elemento *output* que representa a operação de saída. Nestes elementos existe um elemento filho chamado *soap:body* que possui o atributo *use*. Este atributo pode ter o valor *encoded ou literal*. O valor *encoded* especifica que a mensagem SOAP deve incluir os tipos dos dados como atributos dos elementos parte da seção *message*. Já o valor *literal* não necessita a inclusão daqueles atributos, pois a verificação dos tipos de dados da mensagem SOAP é feita utilizando um *XML Schema*;

- **service**: especifica um ou mais pontos de extremidade. Cada seção *port* especifica um endereço de serviço.

O SOAP é um protocolo de comunicação baseado em XML que define como devem ser estruturadas as mensagens para troca de informações entre o requerente e o provedor do serviço [140]. É padronizado e mantido pelo consórcio W3C. Este protocolo foi o primeiro padrão desenvolvido para *Web Services*. Atualmente, possui a versão 1.1 e 1.2, que se diferenciam no nível dos adaptadores do SOAP e não são visíveis ao programador. Este protocolo utiliza, normalmente, o protocolo de transporte HTTP, mas pode utilizar também SMTP e FTP.

A mensagem SOAP, é um documento XML dividido em três partes: um envelope obrigatório, um cabeçalho que é opcional e um corpo obrigatório. O envelope é o elemento raiz do documento e nele são descritas informações como: namespaces e atributos adicionais que definem o modo de codificação. O cabeçalho (*Header*) tem como objetivo armazenar informações adicionais, como por exemplo, nome de usuário e senha. Já o corpo (*Body*) é o elemento obrigatório que contém a informação a ser transportada. O corpo pode conter um elemento extra chamado de *Fault*, o qual tem como objetivo transportar uma mensagem de erro ou estado.

2.6.2 Processamento Distribuído

As arquiteturas têm sido submetidas a grandes mudanças evolutivas. A mudança de uma camada, tipo de sistemas em *mainframe* de duas camadas baseados em sistemas de cliente/servidor, abordou-se a necessidade de separar camada da aplicação da camada de recursos. Durante o início dos anos 1990, empresas tradicionais fornecedores de sistemas de informação começaram a responder às necessidades dos clientes, mudando para duas camadas, cliente/servidor, e logo para multicamadas visando à flexibilidade. Este modelo multicamadas é o modelo atual, em que se distribui o *software* em um conjunto de máquinas, que compreende uma parte de um todo da aplicação [144] [145].

Desse modo, além da Arquitetura Orientada a Serviços (AOS), uma nova camada de processamento pode ser acrescentada a arquitetura como pode ser observado na Figura 2.26, possibilitando que os serviços prestados aos clientes possam ser processados em um *Cluster*, melhorando o desempenho do serviço assim como a disponibilidade, constantemente exigidas em acordos de níveis de serviço. Este conceito pode ser observado quando um serviço web ao receber a requisição do cliente destina o processamento a um objeto do tipo *Enterprise JavaBeans (EJB)*, por exemplo.

Nesse momento qualquer máquina do cluster que tenha o objeto requerido disponível no servidor de aplicação, tem a capacidade de atender o processamento do serviço [145].

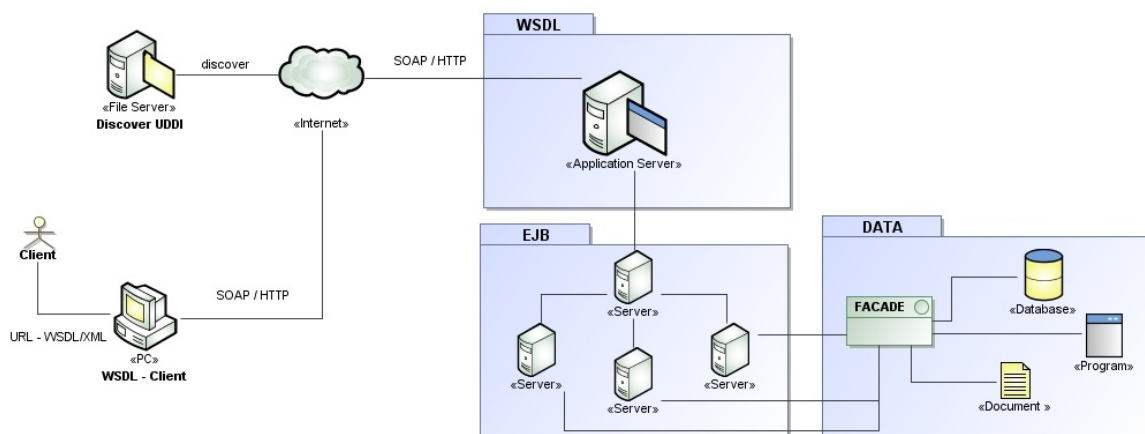


Figura 2.26: AOS e Processamento Distribuído [146].

A arquitetura do *Enterprise JavaBeans* (EJB) é uma arquitetura de componentes para o desenvolvimento e implantação de aplicações de negócios distribuídas baseadas em componentes. Aplicações escritas usando a arquitetura EJB são escaláveis, transacionais, e seguras. Essas aplicações podem ser escritas uma vez, e então carregadas em qualquer servidor que suporte a especificação EJB [146].

Entende-se que através da utilização de EJB obtém-se um padrão para a implementação da regra de negócio em aplicações multi-camadas.

Com este entendimento, EJB define uma programação baseada em componentes que são tratados do lado do servidor, de maneira a facilitar a utilização de regras para o uso da Aplicação [146]. São eles:

- **entityBeans**: representam os objetos do negócio que serão armazenados em uma base de dados (persistência); eles podem ser compartilhados por vários clientes, necessitando assim de uma chave-primária (um identificador único daquele objeto "Id");
- **sessionBeans**: representam os objetos que gerenciam a "lógica do negócio" e não tem caráter de persistência; são voláteis e tem um ciclo de vida muito curto. Como não são objetos armazenados, existem apenas durante a execução de um serviço, uma sessão cliente-servidor. Existem dois tipos de Componentes SessionBean, o StatelessSessionBean e o Stateful SessionBean;
- **message-driven Beans**: incorporado recentemente, este componente representa objetos que podem ser considerados como message listeners. São executados quando recebem uma mensagem através do *Java Message Service* (JMS) e implementam invocação assíncrona de métodos, similar ao processamento de eventos.

Esta integração entre as tecnologias *Web Service* e EJB pode ser observada na exemplifi-

cação disposta no código Java 2.1, onde o serviço de Autenticação referenciado pelo método "consultaUsuario" presente no WSDL "WBSAutenticacao" solicita o processamento do objeto EJB distribuído "EJBAutenticacaoLocal".

Listing 2.1: Integração WSDL e EJB

```
@WebService(serviceName = "WBSAutenticacao")
@Stateless()
public class WBSAutenticacao {
    @EJB
    private EJBAutenticacaoLocal ejbRef;

    @WebMethod(operationName = "consultaUsuario")
    public boolean consultaUsuario(
        @WebParam(name = "login") String login ,
        @WebParam(name = "senha") String senha)
        EnumModoAutenticacao enumModoAutenticacao) {
        return ejbRef.consultaUsuario(login , senha);
    }
}
```

Como este trabalho prevê a integração da arquitetura proposta com a RV, uma pesquisa que viabilize o processamento distribuído dos objetos gráficos é um ponto também abordado pela tese. Dentre os trabalhos correlatos, alguns merecem destaque. O *Distributed Interactive Virtual Environment* (DIVE) [147], é um ambiente de RV com n usuários com o suporte de uma rede. Os participantes navegam em um cenário 3D e há uma interação com os demais participantes. O sistema não utiliza a plataforma cliente-servidor. Cada participante conectado a um ambiente virtual possui localmente uma cópia com a descrição deste mundo e as atualizações são continuamente enviadas na rede da qual o usuário está fazendo parte, portanto a distribuição ocorre localmente [148].

Ribeiro [149], relata uma arquitetura para distribuição de ambientes virtuais multidisciplinares de ensino. Ambientes Virtuais de Biologia (paisagem com plantas, água, luz e terra) e Química (membrana de uma folha) foram utilizados tendo o fenômeno da fotossíntese como estudo de caso e relação entre os dois ambientes. No protótipo desenvolvido a partir da arquitetura proposta por Ribeiro a distribuição ocorre somente em redes locais utilizando a plataforma CORBA [149] [148].

Silva [150], desenvolveu uma arquitetura para distribuição e colaboração em ambientes virtuais de Realidade Aumentada. O objetivo foi apresentar uma abordagem computacional/algorítmica que seja suficiente para suportar o funcionamento de um Ambiente de Realidade Aumentada disponibilizando um nível razoável de colaboração entre vários usuários conectados em uma rede local de computadores [150] [148]. Contudo, antes de propor o modo de processamento de objetos gráficos, Coulouris [151] propôs o entendimento do contexto e processamento de maneira distribuída.

Capítulo 3

Metodologia

A metodologia enfatiza o modo como a pesquisa foi realizada, assim como a delimitação e abrangência do trabalho. Nesse capítulo é apresentado a arquitetura de integração entre os domínios RV, STI e Ontologia, assim como as sub-arquiteturas de cada módulo de processamento e o processo de validação da tese.

3.1 Introdução

Este capítulo apresenta o problema abordado por esse trabalho, em conjunto com técnicas e metodologias para facilitar a integração, buscando ressaltar o estado da arte da arquitetura proposta.

3.2 Classificação da Pesquisa

Do ponto de vista da abordagem do problema, esta é uma pesquisa qualitativa, porque visa diagnosticar as formas de integração da RV, STI e bases de conhecimento, destinados a aprendizes da área da saúde, a partir da nova arquitetura proposta. 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 [10]. 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.

3.3 Pressuposto

Este trabalho parte da suposição que *a integração dos domínios RV, STI e Ontologia pode auxiliar na educação médica.*

3.4 Coleta e Análise de Dados

Como base para os experimentos são utilizadas as atuais bases de ontologias do módulo de ensino do projeto "Atlas Anatômico 3D Aplicado à Mama"[152]. As ontologias modeladas para o projeto LNCC são destinadas a formalização da anatomia interna e externa do tecido mamário, procedimentos e equipamentos de diagnósticos.

3.5 Delimitação do Estudo

Este estudo procura apresentar a concepção de uma arquitetura que integre bases de conhecimento, como ontologias, RV e STI. Entretanto, os seguintes pontos não serão abordados, configurando-se como evoluções futuras do trabalho:

- estratégias pedagógicas de ensino;
- análise do perfil do estudante;
- adequação da *interface* ao perfil do usuário.

3.6 Validação do Estudo

O processo de validação é focado na arquitetura proposta nesta tese. Nesse sentido, dois grupos de validação foram propostos: **Arquitetos de TI** e **Professores com Conhecimento Correlato**, porém com abordagens de validação diferenciadas. Mediante a essa especificação elaborou-se um questionário, buscando validar vários aspectos da arquitetura tais como: viabilidade, modularidade, comunicação, tecnologia, integração, linguagem e acoplamento.

Uma segundo ponto de avaliação da arquitetura consiste em verificar a viabilidade do simulador proposto e se o mesmo pode ser auxiliar como meio de treinamento do procedimento *Core Biopsy*. Nesse sentido, o simulador foi avaliado pela equipe de especialistas da **Clínica Janice Lamas Radiologia** e um relatório foi apresentado pela especialista.

3.7 Análise de Resultados

No processo de avaliações dos resultados foi apresentado de maneira textual as avaliações do grupo de professores com conhecimentos correlatos, buscando apresentar de maneira direta seu ponto de vista, assim como suas contribuições. Em relação ao resultado obtido pela aplicação do questionário, funções estatísticas como a média e moda serão aplicadas, a fim de auxiliar a análise das respostas.

3.8 Estudo de Viabilidade

O estudo necessário para a concepção de uma arquitetura de simulação baseada em RV com possibilidades de integração com bases de conhecimento, como por exemplo, ontologias, além do suporte a interação em STI, teve início em 2006 com a concepção da arquitetura conhecida como Ambiente de Simulação Médica (ASM) [3]. A proposta atual denominada jASM busca corrigir e integrar novas funcionalidades que na antiga arquitetura apresentava deficiências, tais como:

- multiplicidade de linguagens de programação, dificultando o desenvolvimento e evolução da arquitetura;
- dependências específicas de Sistema Operacional (SO), impossibilitando o acesso de outros usuários;
- comunicação entre a RV e o STI baseado em parâmetros, com alto acoplamento entre os dois ambientes;
- necessidade de registro do módulo de RV no SO, dificultava a execução e validação completa do mesmo;
- grafo da cena 3D não seguia os modelos convencionais de desenvolvimento;
- integração com diferentes dispositivos dificultada pelas dependências com SO;
- biblioteca não contemplava algoritmos de deformação, não permitindo a simulação de superfícies maleáveis, como o tecido mamário em estudo nesse trabalho.

Nesse aspecto, a concepção de uma arquitetura que corrija as falhas relatadas na arquitetura anterior do ASM, foi iniciada portando a biblioteca de processamento gráfico para uma linguagem comum de desenvolvimento ou propondo a substituição da mesma, pois a arquitetura anterior empregava a linguagem Java para a programação do STI, HTML, ACTIVEX e Java como *interface* de interação com estudante e C/C++ para a programação da RV.

Desse modo, a fim de unificar a linguagem de desenvolvimento, optou-se por substituir a linguagem C/C++ da biblioteca gráfica para a linguagem Java, padronizado assim a linguagem de desenvolvimento da arquitetura, assim como proporcionando características de execução multiplataforma. Contudo, é sabido que os requisitos de desempenho existentes na linguagem C/C++ deverá ser seguido na nova biblioteca, devido às exigências de tipo de simulação pretendida.

Outro ponto de deficiência na arquitetura ASM consiste no modo de repasse de informações entre a RV, STI e base de informações, contudo as informações são passadas por parâmetro, tornando a aplicação com alto índice de acoplamento. Dessa forma, um mecanismo que possibilita diminuir o acoplamento, consiste em definir um protocolo de negociação/comunicação entre os diferentes ambientes de ensino. Nessas condições o uso da tecnologia *Web Service* para a comunicação, chamada de métodos remotos e distribuição do processamento, facilita o desacoplamento dos ambientes.

3.9 Modelo da Arquitetura

As tecnologias básicas discutidas anteriormente, tais como *Java*, *JNA*, *JOGL*, *OPENGL*, *Web Service*, *EJB*, *XML*, *SOAP*, formam a base da arquitetura proposta, sendo agrupadas e dispostas na Figura 3.1, buscando resolver alguns objetivos específicos do trabalho. Os demais objetivos serão discutidos após o detalhamento da arquitetura proposta, entre eles o processo de formalização do conhecimento "Anatomia e Modos de Diagnóstico de lesões mamárias" em padrão de ontologia, modo de relacionamento da ontologia com RV e STI e modelo de deformação de superfícies maleáveis para a simulação de procedimentos cirúrgicos em tempo real.

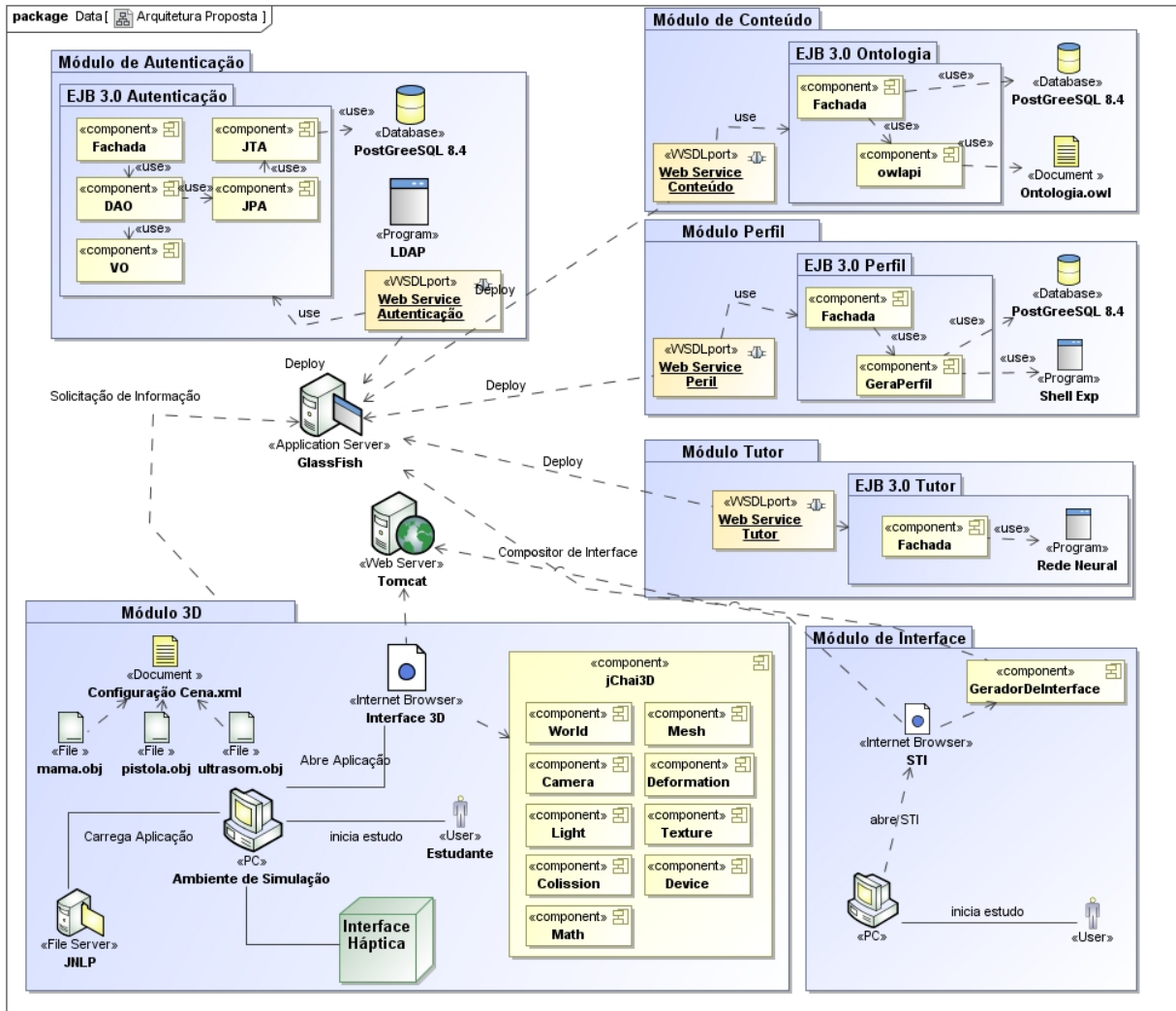


Figura 3.1: Modelo da arquitetura.

A arquitetura divide o sistema em seis (6) módulos independentes de processamento, porém com possibilidade de comunicação ativa entre os módulos. Os módulos são: módulo de autenticação, módulo de conteúdo, módulo perfil, módulo tutor, módulo 3D e o módulo de *interface* que serão detalhados nas seções a seguir.

3.9.1 Módulo de Autenticação

O módulo de autenticação se baseia na tecnologia *Web Service* e *EJB* para disponibilização do serviço e processamento distribuído, buscando realizar o controle de acesso ao sistema, auxiliando o registro e a evidência da presença do estudante.

Durante o processo de autenticação as informações geradas no módulo de perfil são sincronizadas com o status atual do usuário, garantindo assim a atual situação do mesmo. As informações validadas são *login e senha*, fornecidos no módulo de perfil, assim como o grupo o qual pertence o usuário. Após o processo de validação e autenticação a informação *status* e atualizada no objeto perfil persistida no repositório de dados do sistema.

3.9.2 Módulo de Conteúdo

O módulo responsável pelo acesso ao conhecimento formalizado em uma estrutura de ontologias também se baseia na tecnologia *Web Service e EJB* para disponibilização do serviço e processamento distribuído.

A ontologia primária que armazena o domínio de conhecimento desse trabalho é denominada *OntoMama* [48]. Basicamente a ontologia contempla as estruturas internas e externas na anatomia da mama feminina, procedimentos médicos de punção de mama e equipamentos de auxílio ao procedimento cirúrgico. Nesse trabalho, o tipo *comment* da especificação *OWL*, utilizada pela *OntoMama* para inserção do conteúdo, foi substituído por uma instância de classe composta das seguintes propriedades: conteúdo, tipoConteúdo, classificação, grupo e referência.

A propriedade *conteúdo* da instância de classe é responsável por armazenar o conteúdo da anotação *comment* da *OntoMama*, assim como a língua de origem do conteúdo, como por exemplo português, identificado na ontologia pela macro "pt". O conteúdo também pode ser classificado, referenciado e definido. O campo *referência* vincula o conteúdo a uma referência bibliográfica. O campo *tipoConteúdo* possibilita a especialização do modo de visualização em formato STI ou RV, pois em ambiente 3D a visualização textual necessita ser mais sucinta.

A propriedade *classificação* define o nível do conteúdo em básico, intermediário e avançado, possibilitando que de acordo com o perfil do usuário associado com a propriedade *grupo* a informação possa ser apresentada adequadamente.

Estas propriedades podem ser observadas na Figura 3.2, no qual, a instância de classe "Mamilo" definida como "MamiloConteudo" ativa as propriedades conteúdo, tipoConteúdo, classificação, grupo e referência.

Um dos objetivos do trabalho consiste em repassar informações existentes na ontologia para o ambiente de RV e STI, porém com as particularidades de cada ambiente. Desse modo, foi necessário representar as classes, as propriedades e os relacionamentos do domínio da RV em conjunto com a *OntoMama*, e propor relacionamentos entre esses dois (2) contextos. A modelagem do domínio RV em formato de ontologia teve como base as representações de cena gráfica existentes na literatura e buscou identificar as possíveis conceitos e atributos desse contexto.

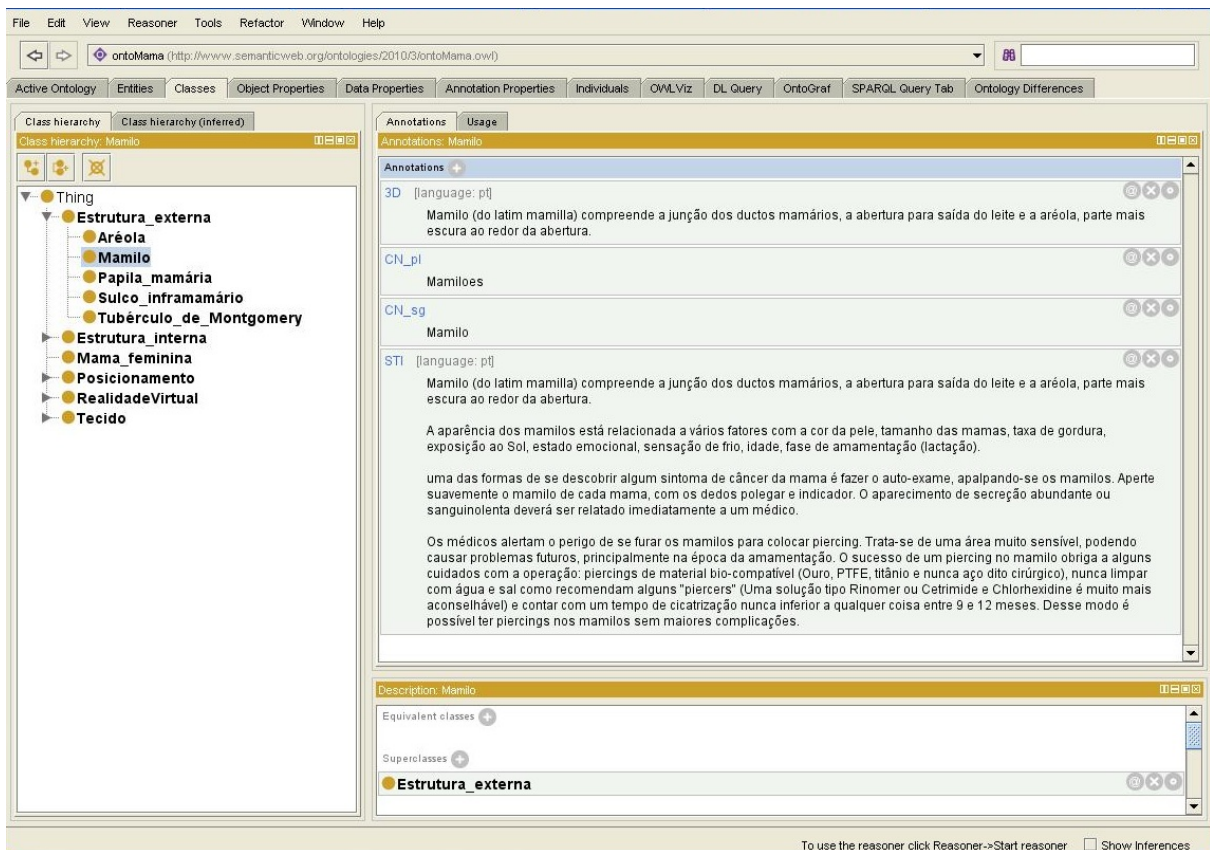


Figura 3.2: Definição de Conteúdo, Classificação, Grupo e Referenciação.

O mecanismo que permite a comunicação entre a OntoMama e a RV é o relacionamento "SolicitaAuxilio", no qual as estruturas internas e externas podem solicitar auxílio a RV. Este relacionamento não é reflexivo, isto é, desse modo apenas as classes que representam as estruturas internas e externas e sua hierarquia inferior tem acesso as propriedades da RV. Por conseguinte, as características de cada classe da OntoMama, pertencentes ao relacionamento com a RV e podem expressar individualmente características distintas no processo de simulação, como pode ser observada na Figura 3.3.

A individualização é obtida através da tecnologia de instância de classe presente na representação OWL. Essa tecnologia permite que uma determinada classe presente na ontologia possa ser individualizada com atributos únicos e assim representar uma informação independente no domínio em que for utilizada. Essa tecnologia foi utilizada no processo de integração desse trabalho, permitindo por exemplo, a criação do indivíduo "mamilo" oriundo da classe abstrata "mamilo".

Por sua vez a instância "mamilo" agrega as sub-instâncias "mamilo2D", "mamilo3D" e "mamilo Conteudo" através da chamada do método "add", que pode ser exemplificada com a seguinte descrição: *mamilo add mamilo2D*.

O indivíduo "Mamilo3D", por sua vez, adiciona o indivíduo "MamiloViewport" com as características da janela de redesenho gráfico, como largura e comprimento. Em seguida, a instância "MamiloViewport" adiciona a instância "MamiloWorld" que atribui as características do

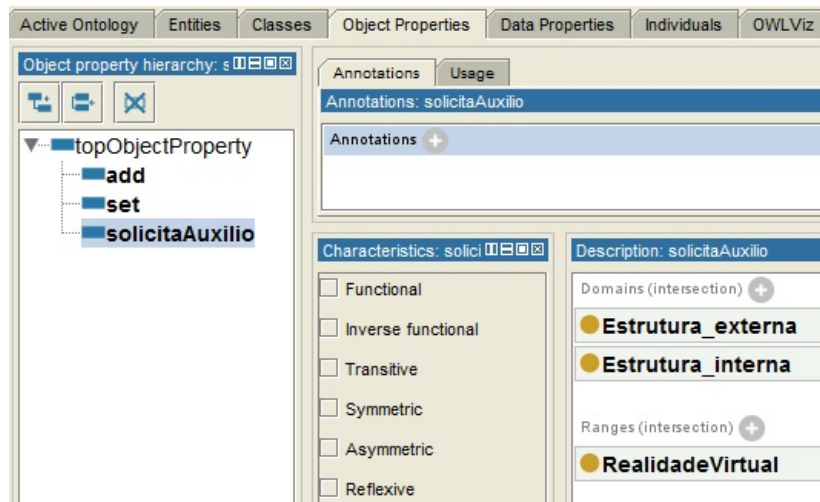


Figura 3.3: Ativação do Relacionamento entre os domínios RV e STL.

mundo 3D, por exemplo, posicionamento e cor de plano de fundo. Por sua vez, o indivíduo "MamiloWorld" adiciona os objetos pertencentes ao mundo através das instâncias "MamiloCamera", "MamiloLight" e "MamiloMesh", configurando respectivamente parâmetros de aproximação e afastamento da câmera, posicionamento da câmera no mundo, tipo de luz ambiente e malha de triângulos da malha 3D.

Outros indivíduos podem ser adicionados à instância "MamiloWorld", como "MamiloHaptic", "MamiloColision" e "MamiloDeformation", caracterizando a ativação do processo de interação háptica, assim como o modo como a colisão e deformação serão tratados.

Este relacionamento pode ser observado no grafo disposto na Figura 3.4, que representa os relacionamentos entre as instâncias e classes.

3.9.3 Módulo de RV

O módulo da arquitetura responsável pela visualização, navegação e interação 3D foi baseado totalmente na tecnologia Java, entretanto as bibliotecas dos dispositivos de interação são fornecidas pelo fabricante de cada *hardware* de contato, porém incorporadas por uma *interface* comum.

Estando a aplicação ativa no computador do estudante, é possível que o contexto em estudo seja repassado para o módulo 3D. Dessa forma, de modo pioneiro este projeto utiliza ontologias para representação da cena gráfica, proporcionando um modo de representação diferenciado das aplicações de RV existentes.

Através desse relacionamento, a representação da cena gráfica pode solicitar a visualização em diferentes domínios/contextos. Por exemplo, uma determinada estrutura da anatomia humana pode ser visualizada em diferentes domínios tais como Anatomia, Fisiologia ou Patologia, isto é, o processamento da informação é tanto vertical, no qual o contexto apresenta suas funções, propriedades e indivíduos da classe, bem como horizontal, permitindo a comunicação entre domínios independentes.

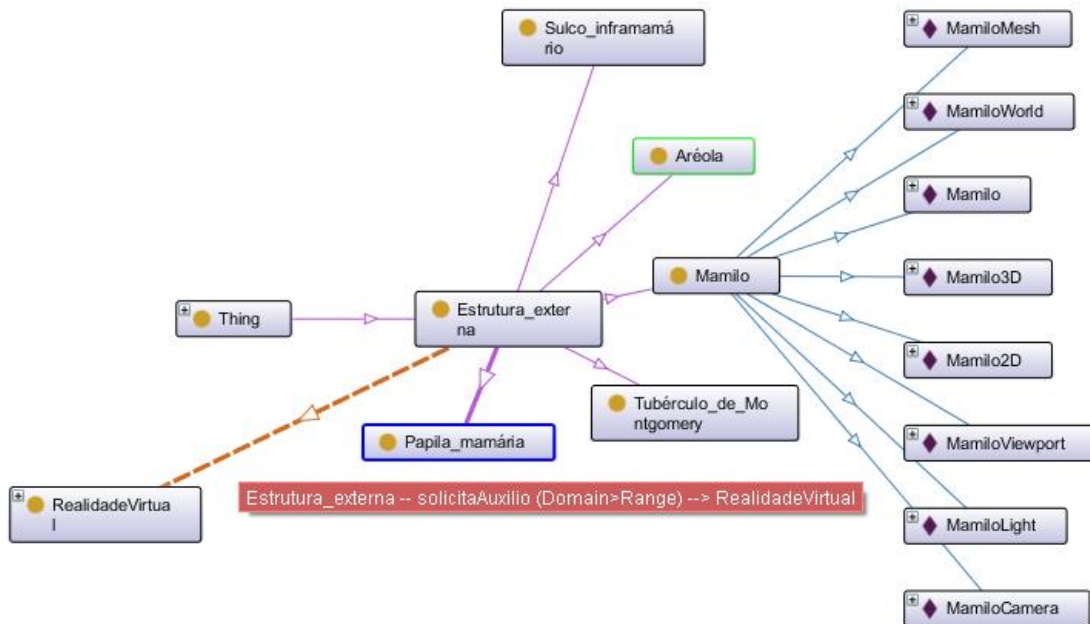


Figura 3.4: Exemplo de indivíduos do tipo Mamilo.

O contexto em estudo é repassado ao módulo 3D, através de *Web Services*. No momento em que o estudante seleciona um determinado contexto, essa informação é repassada ao serviço que gerencia a interação com a ontologia e armazena a atuação do estudante. No momento em que o módulo 3D é ativado, o mesmo questiona ao serviço que gerencia a ontologia, qual o atual contexto de estudo e, em seguida, o ambiente 3D é condicionado com as características predefinidas pelo especialista.

O módulo 3D apresenta características de arquitetura particulares e comuns aos modelos pesquisados, pois os requisitos de desempenho e sincronismo são vitais para esse sistema. Este módulo é composto de três (3) fluxos assíncronos e sete (7) processos, como pode ser observado na Figura 3.5.

No primeiro fluxo estão presentes, o (i) Processo Gráfico, responsável pela comunicação com *interface* OpenGL e redesenho da janela Gráfica e (ii) Processo de Ativação de Contexto, responsável por definir as características da cena gráfica tais como: malha 3D a ser importada, iluminação do ambiente, câmeras de observação, algoritmos de detecção de colisão e deformação ativados e características do processo de interação háptica.

O segundo fluxo é constituído do (iii) Processo Háptico, que realiza a comunicação com a *interface* robótica de simulação e repassa os parâmetros de interação (Força, Torque, Posição e Velocidade) ao (iv) Processo de detecção de colisão, que por sua vez ao detectar a colisão encaminha a componente de Posição ao (v) Processo de Deformação, que atualiza a malha 3D com as características processadas pelo algoritmo de deformação escolhido. O (vi) Processo de Controle tem o papel de atualizar a resposta de força gerada no processo de deformação na *interface* háptica, seguindo diretivas de proteção.

O terceiro fluxo, que contém o (vii) Processo de Informação, sendo responsável por buscar na base de informações, dados sobre a malha após a colisão, porém tal informação é customizada de maneira diferenciada para esse ambiente, a partir de instâncias de classe que representam o conteúdo específicas para o ambiente 3D.

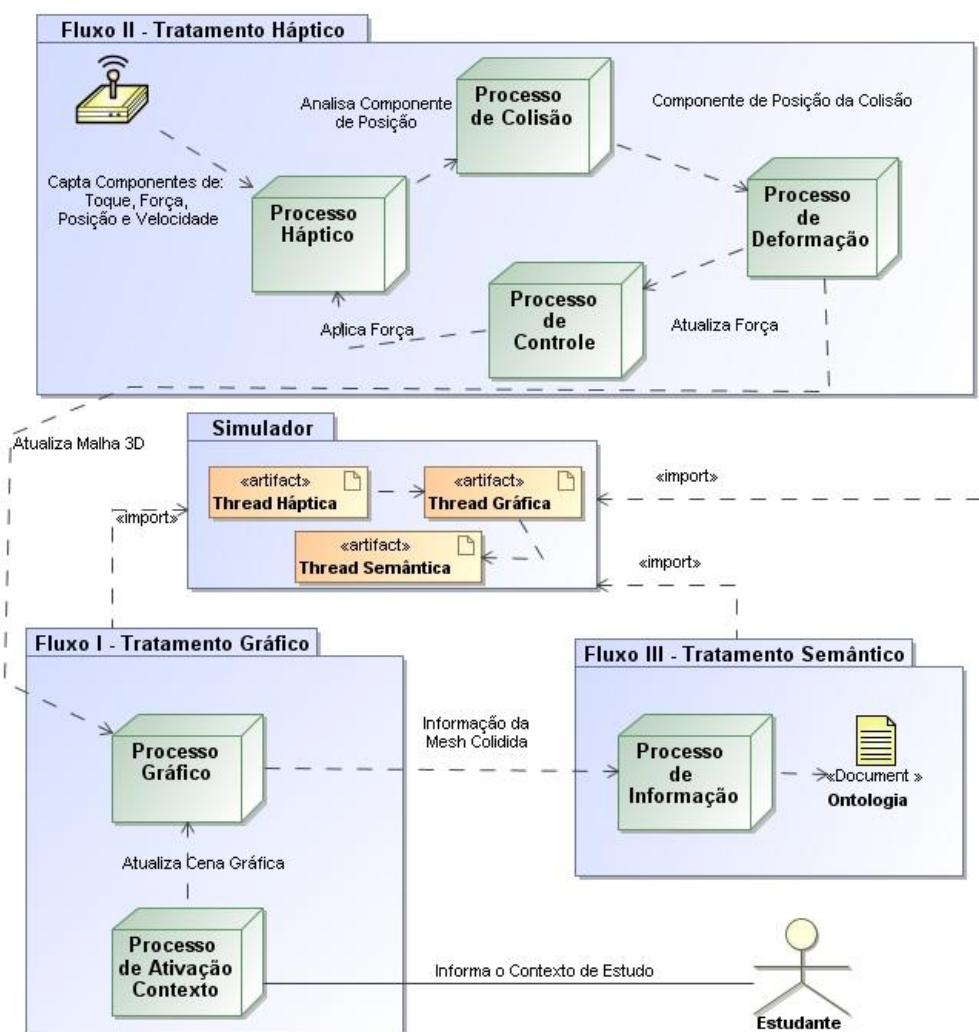


Figura 3.5: Diagrama de arquitetura do módulo 3D.

Dentre os processos descritos anteriormente, o processo de deformação e o processo háptico apresentam características que agregam realismo esperado pela área médica para composição de um simulador efetivo de procedimentos cirúrgicos.

Em relação ao processo de deformação, representado no módulo 3D da arquitetura, cuja finalidade é atualizar a malha principal a partir do vetor de posição identificado no processo de colisão, e posteriormente processar os demais componentes gerados pela *interface* háptica (Força, Toque e Velocidade), caso a simulação tenha um enfoque apenas visual, é possível o uso de algoritmos de deformação puramente geométricos, por exemplo, *Bezier* e *B-Spline*. Entretanto, em simulação em que o realismo é exigido, o uso de algoritmos de deformação físicos são aplicados, por exemplo, Massa Mola ou Elementos Finitos.

Dessa forma, neste trabalho interconectado a *interfaces* hápticas permite que superfícies deformáveis possam ser simuladas com maior realismo, tendo como base a implementação *Massa Mola* disponibilizada pelo jChai3D, onde a *interface* háptica entra em contato com a malha, e em seguida é deformada. Todavia, a implementação desse algoritmo não foi concluída pelo grupo mantenedor da biblioteca sendo apenas possível visualizar o fluxo de processamento da deformação disposto na Figura 3.6.

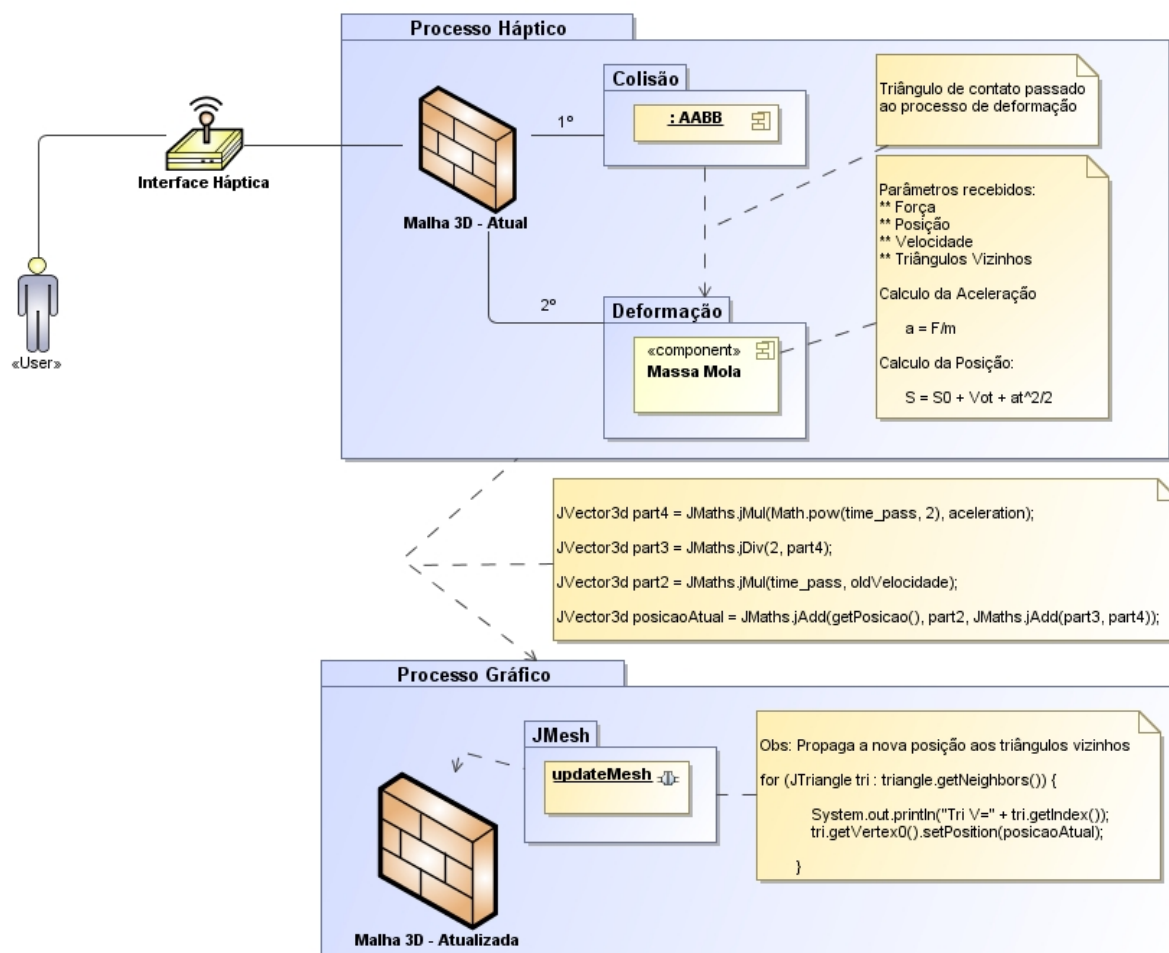


Figura 3.6: Fluxo de deformação Massa-Mola.

Simulações como a localização do triângulo de contato da malha 3D durante o processo de detecção de colisão, cálculo da posição atual do objeto de contato em relação ao vetor de direção da *interface* háptica, recuperação do vetor de forçar e velocidade da *interface* háptica e cálculo da aceleração tendo por base os parâmetros recuperados no instante da colisão. Após este processo a nova posição é propagada para os triângulos vizinhos a partir do triângulo de contato, gerando assim um efeito de deformação. Contudo, ainda não foi solucionado o processo de seleção de um grupo maior de vizinhos para propagação da deformação. Dessa forma, devido a essas pendências, este processamento não será objeto de aprofundamento na simulação do procedimento *Core Biopsy* em estudo nesse trabalho.

3.9.4 Arquitetura Integrada

A arquitetura do STI presente nessa tese foi baseada no trabalho de Curilem (2002) [74], onde os quatro (4) módulos: *aluno*, *especialista*, *tutor* e *interface* representados na Figura 3.7 foram customizados e integrados a tese.

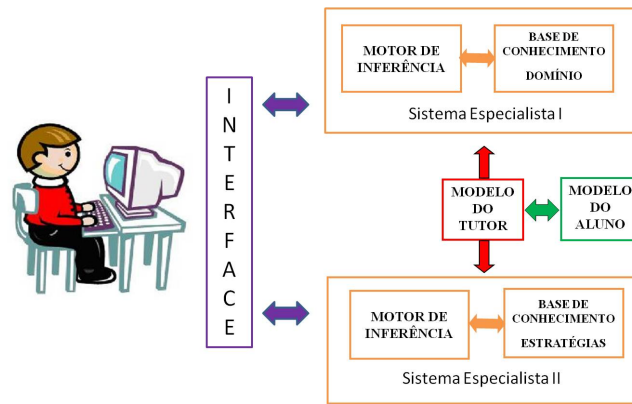


Figura 3.7: Arquitetura proposta por Curilem [74] com adaptações.

A arquitetura representada na Figura 3.7 é detalhada na Figura 3.8, buscando representar como as variáveis que armazenam os estilos de aprendizagem configuram as entradas do módulo tutor e sucessivamente o mecanismo para adaptação da interface.

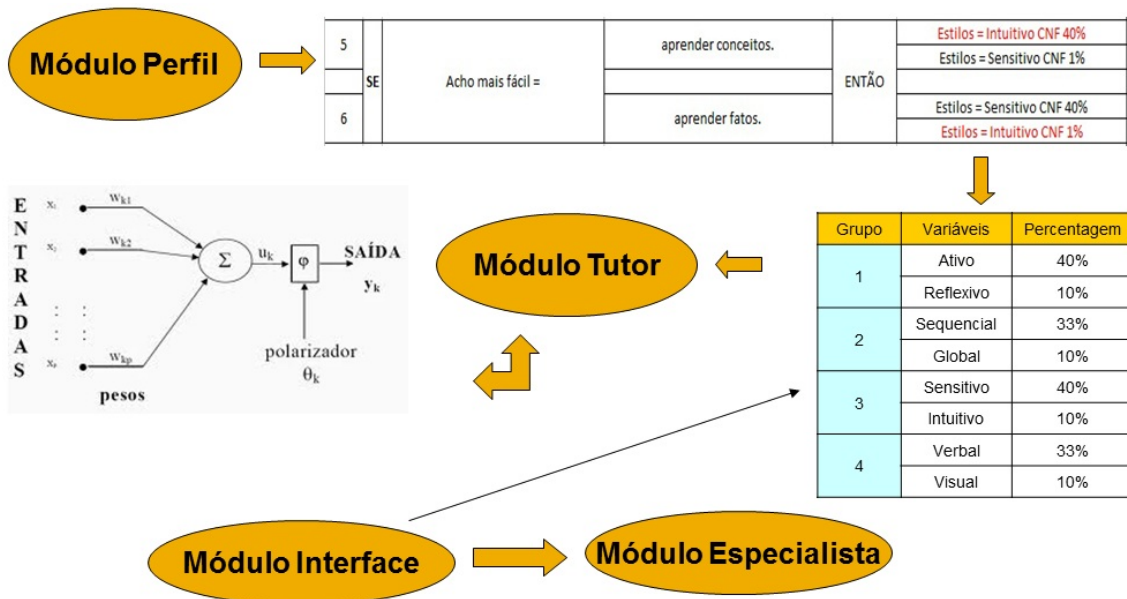


Figura 3.8: Detalhamento da interação entre os módulos.

A partir do fluxo descrito na Figura 3.8 a mesma foi adaptada para incorporar o processamento de autenticação e RV como representado pela Figura 3.9. Esses módulos agregam a arquitetura um mecanismo de segurança e uma mais uma ferramenta de ensino, não só de visualização mas também de simulações complexas com ativação de *hardware* de contato.

Nesse sentido, pelas teorias estudadas e avaliadas, este trabalho se enquadra na linha do Cogni-

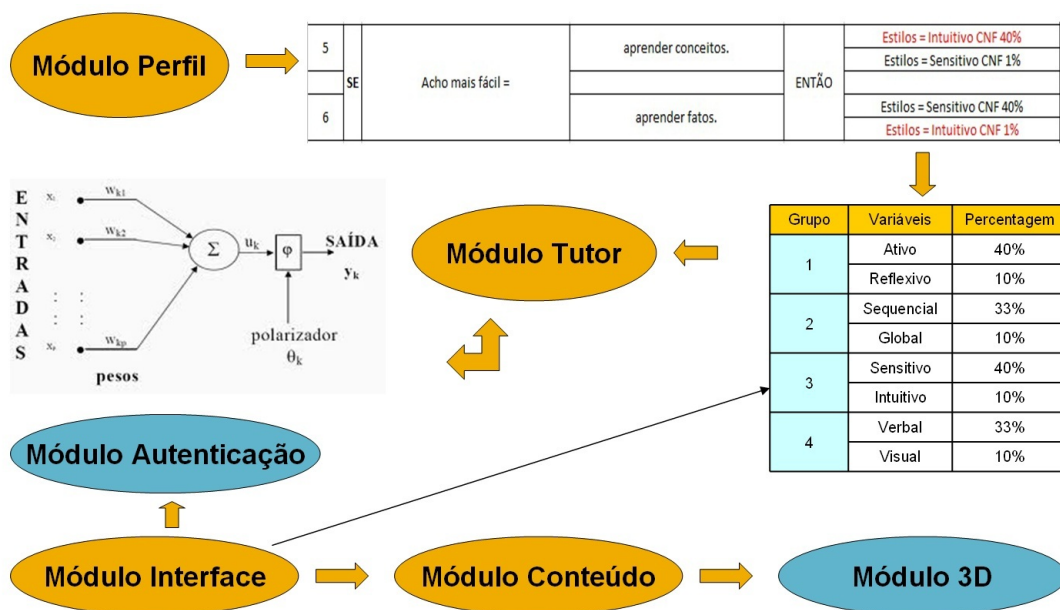


Figura 3.9: Integração de módulos a arquitetura de Curilem.

tivismo, especificamente a aprendizagem significativa, onde o aluno com seu conhecimento prévio interage com o STI, a fim de lapidar ou atualizar seus conceitos.

3.9.5 Módulo Aluno ou Perfil

O Módulo Aluno ou Perfil da arquitetura de Curilem (2002) [74], responsável por identificar o perfil básico do estudante, apresenta ao usuário um questionário que busca avaliar os estilos de aprendizagem e as inteligências múltiplas, além de um questionário básico sobre as características do usuário, como por exemplo: idade, grau de instrução, área fim de atuação entre outras. Esses questionários foram baseados em uma avaliação genérica da psicologia com cerca de 150 questões, a fim de avaliar o perfil dos estudantes.

Esses questionários foram simplificados em 80 questões e dispostos em um Shell Especialista conhecido como *Expert Sinta* [153], desenvolvido na linguagem *Object Pascal* e operacionalizado pela plataforma *Delphi*. Uma dessas regras é exemplificada na Tabela 3.1, assim como os tipos de resposta e as porcentagens vinculada ao tipo selecionado. As demais regras estão dispostas no anexo da tese.

Tabela 3.1: Regra 1 - Avalia estilo como Ativo ou Reflexivo

Questionamento	Valores	Variável
Aprendo melhor algo novo quando posso=	falar sobre ele	Estilos = Ativo CNF 40% Estilos = Reflexivo CNF 1%
	pensar sobre ele	Estilos = Reflexivo CNF 40% Estilos = Ativo CNF 1%

Especificamente para esse módulo a sub-arquitetura disposta na Figura 3.10 foi desenvolvida para representar a interação do *shell* especialista com o armazenamento em banco de dados do perfil do usuário durante o processo de resposta das perguntas. As perguntas cadastradas no banco de dados são apresentadas de maneira randômica ao usuário, sendo todas as perguntas de cada grupo são respondidas completamente. Além do armazenamento das variáveis que identificam os estilos de aprendizagem também é armazenado o percentual pessoal em relação a resposta.

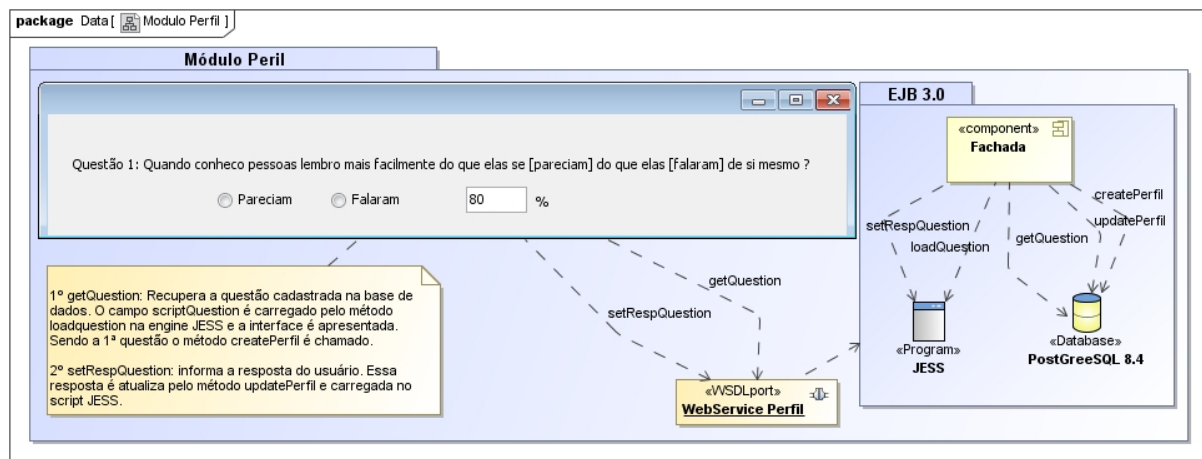


Figura 3.10: Arquitetura de processamento do shell especialista.

A partir dessas regras as porcentagens que identificam os estilos de aprendizagem tais como: Ativo ou Reflexivo, Sequencial ou Global, Intuitivo ou Sensitivo e Verbal ou Visual são ajustadas como um configuração inicial do perfil do usuário. Esse perfil foi utilizado pelo módulo tutor associado ao módulo de *interface* para apresentar o conteúdo da melhor forma para o usuário.

3.9.6 Módulo Especialista

O Módulo Especialista é responsável por armazenar e disponibilizar o conteúdo a ser apresentado ao usuário. No caso da arquitetura desse trabalho, esse módulo é conhecido como Conteúdo, no qual a comunicação é realizada através de *Web Service* e processada de forma distribuída, disponibilizando textos, imagens, áudio, vídeo e cenas gráficas 3D validados por especialistas.

O conteúdo provido por esse módulo é armazenado em ontologias e busca retratar as diferentes formas de apresentação do conteúdo para perfis diferentes, dessa forma as instâncias de cada conteúdo existentes na ontologia, customiza propriedade denominada "tipoReferencia" com o tipo de perfil a ser apresentado. Essa percepção pode ser observada na representação do contexto "Mamilo" descrito abaixo:

- **contexto: Mamilo para leigos:** "Estrutura Externa feminina de cor escura destinada a amamentação";
- **contexto: Mamilo para médicos:** "Aproximadamente no centro da mama encontra-se o mamilo, uma proeminência circular de cor castanha escura, onde convergem os canais da

glândula mamária localizada no interior do órgão.";

- **contexto: Mamilo para enfermeiros:** "Mamilo compreende a junção dos ductos mamários, a abertura para saída do leite e a aréola, parte mais escura ao redor da abertura.";

O perfil básico do usuário é captado pelo módulo perfil que auxilia no direcionamento de exibição do conteúdo de responsabilidade do módulo de *interface*, contudo o perfil é atualizado conforme o usuário interage com sistema.

A atualização do perfil é realizado pelo módulo tutor descrito na sessão a seguir, através das variáveis de entrada e pesos existentes nesse módulo.

3.9.7 Módulo Tutor

O terceiro módulo, Módulo Tutor, faz uso da RNA conhecida como *Interactive Activation and Competition* (IAC) [154], no qual o perfil do usuário e as alterações explícitas realizadas pelo usuário são avaliadas. A RNA IAC, responsável pela adaptabilidade do sistema, modifica, eventualmente, a quantidade de assuntos por mídia a ser apresentada, de acordo com as novas preferências do usuário, ou seja, adaptando o sistema ao novo perfil do usuário. Portanto, se o usuário recusar visualizar o assunto na mídia sugerida pelo sistema, a tela se modifica para a mídia escolhida. A partir deste evento, todas as mídias dos próximos assuntos poderão ser mudadas. Observe-se, todavia, que tais modificações não ocorrem nos assuntos já visitados mantendo-se, portanto, as mídias de apresentação, destes, em futuras consultas.

No trabalho de Curilem [74] a configuração dos *Pools* de processamento da rede IAC não seguiram uma modelo de definição formal, contudo os valores que possibilitaram melhor resposta são descritos a seguir [155]:

- **poll: stage of development:** 3 neurônios;
- **poll: student's interest:** 7 neurônios;
- **poll: multiple intelligences:** 5 neurônios;
- **poll: visual-verbal styles:** 2 neurônios;
- **poll: sequential-global styles:** 2 neurônios;
- **poll: active-reflexive styles:** 2 neurônios;
- **poll: sensitive-intuitive styles:** 2 neurônios;

3.9.8 Módulo de *Interface*

O último módulo, Modulo *Interface*, é responsável por disparar as interações com todos os módulos e customizar a *interface* com o conteúdo de acordo com o perfil. O fluxo de processamento e interação da *interface* é disposta no diagrama de sequencia da UML exposto na Figura 3.11.

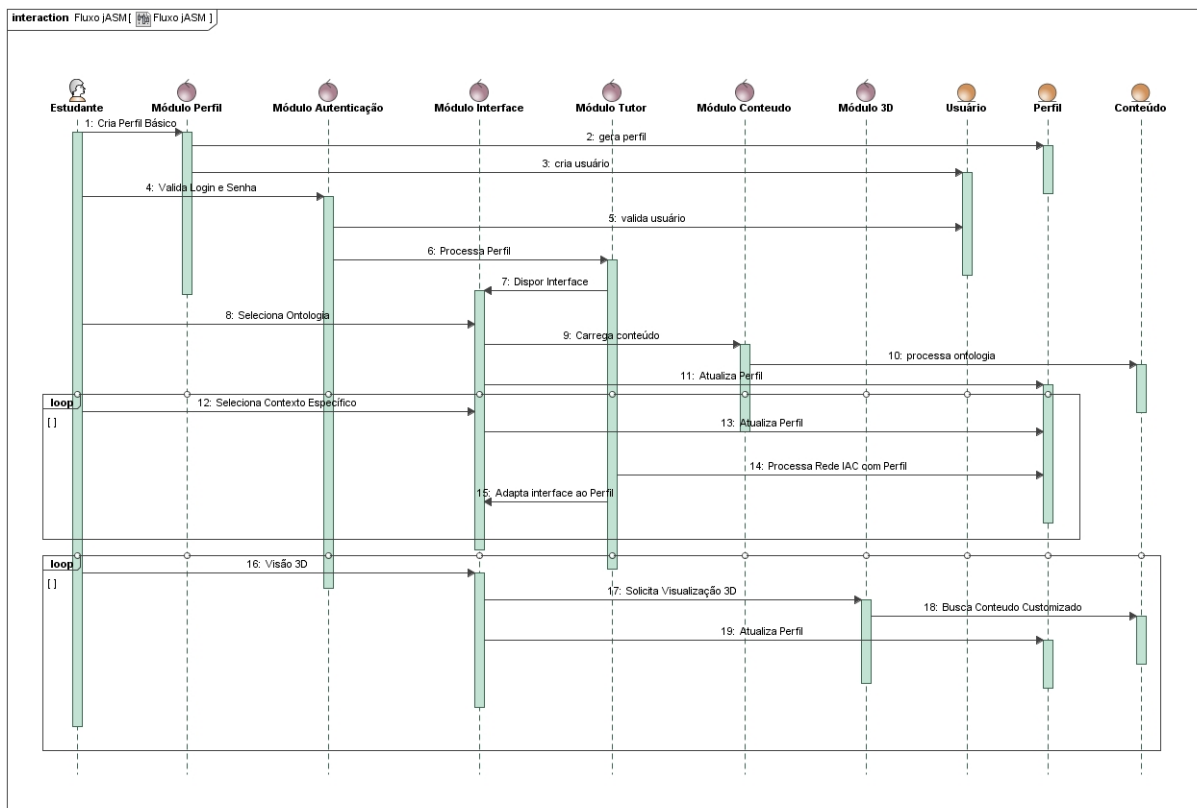


Figura 3.11: Fluxo de Processamento da Arquitetura jASM.

No capítulo **Resultados Experimentais** é apresentado o protótipo jASM, com a arquitetura implementada, assim como o processo de validação do sistema.

Capítulo 4

Resultados Experimentais

Esta etapa do trabalho busca enfatizar o processo de validação da arquitetura proposta, assim como a verificação dos problemas encontrados durante os testes e a implementação das sugestões dos especialistas.

4.1 Introdução

A presente arquitetura de integração foi disposta no protótipo que implementa a arquitetura jASM elaborada por este trabalho, disponível na URL: www.lisweb.unb.br/jASM. Este sistema foi disposto em uma arquitetura de *hardware* financiado pelo **Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia (INCT)**, disponibilizada em janeiro de 2012, baseada na plataforma MAC do fabricante *Apple*, para simulação e validação desse trabalho.

Por ser um conjunto de equipamentos instalados na UnB, Faculdade Gama (FGA), um dos *campus* avançado da UnB, todo o processo de validação está sujeito à disponibilidade da infraestrutura lógica e elétrica do mesmo. Nesse sentido, este trabalho conta com os equipamentos e apoio das respectivas áreas responsáveis para esta etapa.

Os equipamentos envolvidos são:

- dois (2) servidores MAC PRO, com a seguinte configuração: Intel Xeon Nehalem Quad Core 2.80 GHz, 3GB, 1TB, 8MB DE CACHE L3 e ATI RADEON HD 5770 1 GB, exemplificado na Figura 4.1 e detalhados na Tabela 4.1;



Figura 4.1: Modelo de Servidor Web e de Aplicação.

Tabela 4.1: Detalhamento: Configuração do Servidor Web e Servidor de Aplicação/BD

Modelo	Conf Servidor Web	Conf Servidor Apl/BD
MACPRO	Servidor Web (Tomcat 6.0) /apl/tomcat Nome: www.lisweb.unb.br Eth 1: 164.41.127.70 (rede externa)	Servidor de Aplicação (Glassfish 3.0) /apl/glassfish Servidor de BD (Postgresql 9.3) /apl/postgree Nome: www.lisapp.unb.br Eth 1: 164.41.127.71 (rede externa)

- um (1) servidor de simulação MAC PRO, com a seguinte configuração: 2 Processadores Intel Xeon Westmere Quad Core 2.40 GHz, 6GB, 1TB, 12MB DE CACHE L3, ATI RADEON HD 5770 1GB, BLUETOOTH 2.1, EDR (ENHANCED DATA RATE) e 2 Monitores 27 LedCinema com conectores *fire wire* para a *interface* háptica Phantom e USB para a Force Dimension, exemplificado na Figura 4.2 e detalhados nas Tabelas 4.2.



Figura 4.2: Servidor de Simulação disposto no Laboratório de Informática e Saúde (LIS).

Tabela 4.2: Detalhamento: Configuração do Servidor de Simulação

Modelo	Configuração
MACPRO	netbeans 7.1.1 Driver Force Dimension Nome: www.lissim.unb.br Eth 1: 164.41.127.72 (rede externa)

4.2 Concepção do Protótipo

4.2.1 Mecanismo de Comunicação e Processamento da Arquitetura

Uma característica comum entre todos os módulos consiste no uso da tecnologia *Web Service* em conjunto com a tecnologia *Enterprise JavaBeans (EJB)* para processamento de objetos em sistemas distribuídos. Dessa forma, o módulo requerente de serviços localiza o serviço *web* de autenticação no servidor de aplicação presente na arquitetura que, nesse caso, é o *GlassFish*. Em seguida, o serviço repassa o processamento da rotina solicitada para o módulo de processamento distribuído EJB. Por conseguinte, é possível que qualquer sistema que tenha acesso a um cliente *Web Service* possa utilizar este serviço e com a possibilidade de agregação de novos servidores ao *cluster* de processamento EJB, como pode ser observada na Figura 4.3.

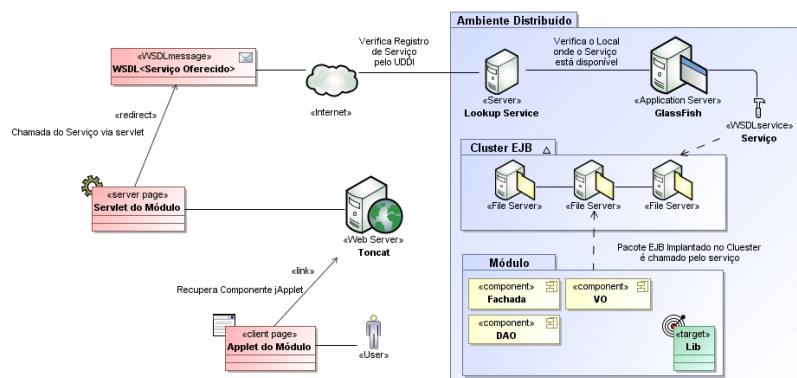


Figura 4.3: Modelo de Comunicação e Processamento Distribuído.

Alguns pontos de destaque do modelo de comunicação e processamento distribuído são importantes para a modularização dos componentes do sistema, tais como:

- **Applet:** é um *software* aplicativo que é executado no contexto de outro programa, por exemplo, um *web browser*, uma *applet* geralmente executa funções bem específicas. No contexto de Java, *applets* são aplicativos que se servem da *Java Virtual Machine (JVM)* existente na máquina cliente ou embutida no próprio navegador do cliente para interpretar o seu *bytecode*. Criados pela Sun em 1995, são geralmente usados para adicionar interatividade a aplicações *web* que não podem ser geradas pelo HTML. Eles são executados numa "caixa de areia" (*sandbox*) pela maioria dos navegadores, impedindo-os de acessarem os dados da máquina na qual estão sendo executados. O código do applet é baixado de um servidor *web* e o navegador ou o embute dentro de uma página *web* ou abre uma nova janela exibindo a *interface* do programa. Ele é exibido na página *web* através do uso da tag HTML `<applet></applet>`, que especifica a fonte e as estatísticas de locação do applet.;

Por ser um aplicativo que emula a janela do SO no *browser*, os recursos de processamento de janelas gráficas para RV e acesso aos dispositivos de interação hápticas conectados nas portas *USB* ou *Firewire* precisam de autorização da VM Java para serem utilizadas. Esta autorização é inserida no arquivo *java.policy* existente na JRE instalada na estação de trabalho,

como pode ser observado na configuração 4.1.

Listing 4.1: Autorização de Acesso a Recursos Java na estação Cliente

```
grant {
    // Allow everything for now
    permission java.security.AllPermission;
};
```

Um outro ponto consiste na forma de comunicação entre os diferentes *applet's* que representam os módulos do sistema ativos na mesma janela e que compõem a *interface* da arquitetura. A forma de comunicação é baseada no contexto de cada *applet*, onde cada módulo pode interagir com o contexto do outro. A seguir é representado o método responsável pela comunicação do módulo de *interface* com o módulo de autenticação 4.2.

Listing 4.2: Modo de Comunicação entre *Applet's*

```
public void comunicaApplet () {
    for (;;) {
        Enumeration<Applet> applets =
            this.getAppletContext().getApplets();

        Applet app = null;

        while (applets != null && applets.hasMoreElements()) {
            app = applets.nextElement();

            String cl = app.getClass().getSimpleName();

            if (cl.equals("AppletAutenticacao")) {
                respApplet = app.getAppletInfo();
            }
        }
        try {
            Thread.sleep(1000);
        } catch (InterruptedException ex) {
        }
    }
}
```

- **EJB**: Possibilita a distribuição do processamento em uma arquitetura clusterizada;
- **WEB SERVICE**: Possibilita a distribuição e padronização de um serviço, sendo possível o seu acoplamento a um EJB, sendo o acesso ao serviço é feito a partir de especificações WSDL. A seguir é apresentada uma exemplificação do serviço de autenticação 4.3;

Listing 4.3: *Web Service* de Autenticação - WBSAutenticacao

```

<definitions targetNamespace="http://wbs/" name="WBSAutenticacao">
<types>
    <xsd:schema><xsd:import namespace="http://wbs/"
        schemaLocation="http://bsb162411:8080/
        .....WBSAutenticacao/WBSAutenticacao?xsd=1"/>
    </xsd:schema>
</types>
<message name="consultaUsuario">
    <part name="parameters" element="tns:consultaUsuario"/>
</message>
<portType name="WBSAutenticacao">
    <operation name="consultaUsuario">
        <input wsam:Action="http://wbs/WBSAutenticacao/
        .....consultaUsuarioRequest" message="tns:consultaUsuario"/>
        <output wsam:Action="http://wbs/WBSAutenticacao/
        .....consultaUsuarioResponse"
            message="tns:consultaUsuarioResponse"/>
    </operation>
</portType>
<binding name="WBSAutenticacaoPortBinding" type="tns:WBSAutenticacao">
<soap:binding transport="
http://schemas.xmlsoap.org/soap/http" style="document"/>
    <operation name="consultaUsuario"><soap:operation soapAction=""/>
        <input><soap:body use="literal"/></input>
        <output><soap:body use="literal"/></output>
    </operation>
</binding>
<service name="WBSAutenticacao">
    <port name="WBSAutenticacaoPort"
        binding="tns:WBSAutenticacaoPortBinding">
        <soap:address location="http://bsb162411:8080/
        .....WBSAutenticacao/WBSAutenticacao"/>
    </port>
</service>
</definitions>

```

4.2.2 Processo de Autenticação

A autenticação processada por um dos módulos da arquitetura é realizada em Sistemas Gerenciadores de Banco de Dados (SGBD) convencionais como exemplo PostgreSQL, descrito na

arquitetura proposta ou em servidores de controle de diretório *Lightweight Directory Access Protocol (LDAP)*. Internamente é utilizado um conjunto de padrões de projeto como *Facades*, *Data Access Object*, *Value Object* para auxiliar a construção do *software*, associado com as tecnologias de persistência e transação de dados *Java Persistence API (JPA)* e *Java Transaction API (JTA)*, respectivamente.

As *frameworks* JPA e JTA são disponibilizadas pela *Oracle* e simplificam a comunicação e o processamento com diferentes bases de dados. Por exemplo, caso o banco de dados precise ser alterada na arquitetura, basta alterar o arquivo de configuração *persistence.xml*.

Nesse módulo alguns arquivos de configuração são essenciais para o funcionamento do mesmo:

- **persistence.xml**: armazena a configuração de acesso ao BD, assim como as entidades de persistência e o *provider* de processamento das transações;
- **glassfish-resources.xml**: configuração dos parâmetros do *GlassFish*;
- **WBSAutenticacao.wsdl**: configuração do serviços de autenticação, métodos disponíveis no serviço, servidor de localização e protocolo de comunicação.

4.2.3 Processamento da Ontologia

Especificamente em relação ao processamento da ontologia foi utilizada a biblioteca *OwlApi* [156], que disponibiliza um conjunto de classes e métodos para processar o arquivo *owl* gerado pela ferramenta de edição de ontologias, *protégé*, tais como:

- **OWLManager : createOWLOntologyManager**: cria o gerenciador de contextos owl;
- **OWLManager : loadOntology**: carrega o arquivo owl a partir de uma url;
- **OWLManager : getOntologyFormat**: recupera o formato do arquivo owl;
- **OWLManager : getOntologyFormat**: recupera o formato do arquivo owl;
- **OWLOntology : getOntologyFormat**: recupera o identificador da ontologia;
- **OWLOntology : getClassesInSignature**: recupera as classes da ontologia;
- **OWLClass : getAnnotations**: recupera as anotações da classe;
- **OWLClass : getSuperClasses**: recupera a superclasse da classe informada;
- **OWLClass : getSubClasses**: recupera as subclasses da classe informada;
- **OWLClass : getIndividuals**: recupera os indivíduos da classe.

Um dos processos mais importantes construídos para este módulo refere-se à importação da ontologia e recuperação de classes, exemplificado no código 4.4.

Listing 4.4: Modo de Processamento OwlApi

```

private void createManagerFactory() {
    manager = OWLManager.createOWLOntologyManager();
    factory = manager.getOWLDataFactory();
}

private void loadOWL(String urlOntologia)
    throws OWLOntologyCreationException {
    createManagerFactory();
    ontology = manager.loadOntology(urlConvert(urlOntologia));
    pm = manager.getOntologyFormat(ontology).asPrefixOWLOntologyFormat();
    pm.setDefaultPrefix(urlOntologia + SEPARADOR_CLASSE);
}

private OWLClass getOwlClass(String urlOntologia ,
String nomeClasse) throws OWLOntologyCreationException {
    OWLClass owlClass = null;
    loadOWL(composicaoUrlClasse(urlOntologia , nomeClasse));
    LogOntologia.getLog().log(Level.INFO,
"INFO_OWL_CLASS_PARAMETER:" + nomeClasse);
    for (OWLClass cls : ontology.getClassesInSignature()) {
        if (cls.toString().contains(SEPARADOR_CLASSE + nomeClasse)) {
            owlClass = cls;
            break;
        }
    }
    return owlClass;
}

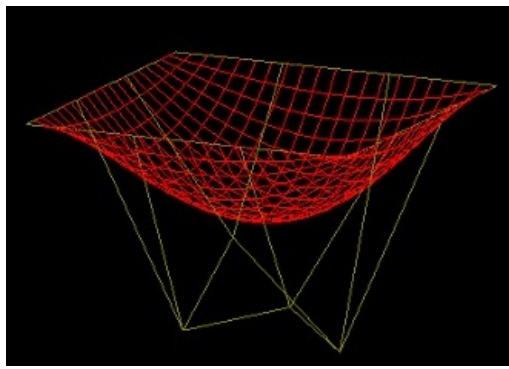
```

4.2.4 Teste de Viabilidade de Migração

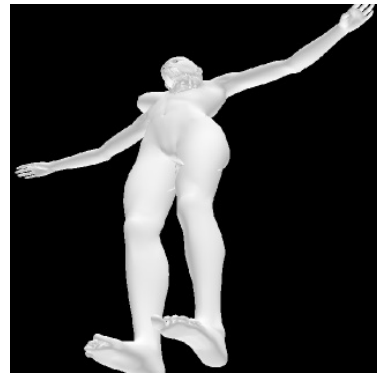
Antes de iniciar o desenvolvimento do ambiente 3D, algumas simulações foram feitas para validar a proposta de migração do *CHAI3D* para a tecnologia Java, como pode ser observado nas Figuras 4.4(a),4.4(b),4.4(c) e 4.4(d).

Na pesquisa realizada previamente, foram classificadas três (3) plataformas de desenvolvimento, o CHAI3D de *Stanford*, o SOFA do INRIA e o *ViMet* da UNIVEM, que poderiam auxiliar na concepção desse trabalho, devido ao seu escopo de atuação em ambientes de simulação médica.

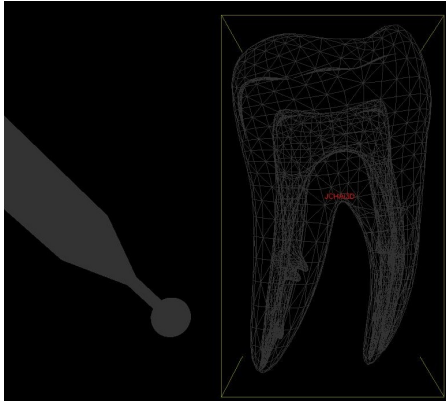
A plataforma *ViMet* é a única entre as classificadas escrita em Java, porém a mesma apresenta algumas particularidades que poderiam dificultar o desempenho e a evolução dos simuladores. O primeiro ponto consiste no uso do padrão Java3D como mecanismo de processamento gráfico,



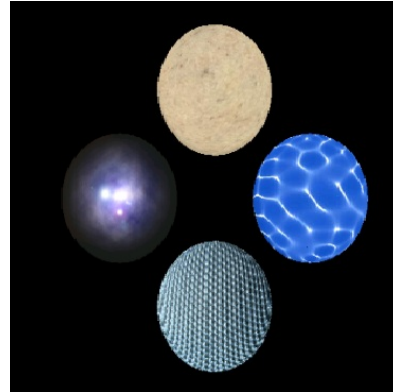
(a) Deformação Bezier em Java.



(b) Malha de triângulos em Java.



(c) Interação háptica e processamento da malha.



(d) Materiais, Texturas e Efeitos.

Figura 4.4: Desempenho da linguagem Java em ambientes 3D.

prejudicando o desempenho da simulação, devido ao processo de bufferização de objetos 3D em Java, diferente do padrão *JOGL* que repassa o processamento para o *OPENGL* da placa gráfica. O segundo ponto consiste na abrangência de atuação da biblioteca quando comparada com o *CHAI3D* e o *SOFA*, principalmente em relação aos processos de deformação geométricos e físicos e o tratamento de concorrências de processos, exigido dos simuladores pretendidos.

Nesse sentido, optou-se por traduzir o *CHAI3D* que tem como requisito técnico a linguagem de programação C/C++ com chamadas diretas ao padrão *OPENGL* de processamento gráfico e dependências do SO *Windows*, para uma linguagem Java, passando a ser conhecida como **jChai3D**.

No jChai3D o acesso às rotinas de redesenho gráfico por parte da nova arquitetura pode ser feito pelo especificação JSR 231 [157], que define o modo de acesso ao recursos gráficos *OPENGL*. Desse modo, a biblioteca Java denominada JOGL [158], que implementa a especificação JSR 231, pode ser utilizada para acessar as rotinas de processamento gráfico assim como permitir a continuidade requisito multiplataforma tanto por parte da linguagem de programação quanto pelo acesso ao *hardware* gráfico. Em relação a *JOGL* já existe uma previsão de que a mesma seja distribuída em conjunto com as atualizações do *Java Runtime Environment (JRE)*, evitando a necessidade de *download* da biblioteca [158].

A biblioteca *JOGL* permite a construção dos seguintes componentes básicos de processamento

3D em relação às necessidades do *CHAI3D*:

- **viewport**: janela de redesenho gráfico emulada do SO, permitindo através da rotina *GLContext.getCurrent().getGL().glViewport()* a construção de um ambiente de redesenho 3D, de comprimentos e dimensões especificadas via argumentos;
- **camera**: definição de perspectivas, parâmetros de aproximação e afastamento do modo de observação da cena, assim como sua posição no ambiente 3D, através da rotina *glu.gluPerspective()* e *glu.gluLookAt()*;
- **light**: definição dos parâmetros de iluminação da cena 3D, através da rotina *GLContext.getCurrent().getGL().glLightfv()*;
- **Mesh**: representação do objeto 3D em forma de triângulos, através da rotina *GLContext.getCurrent().getGL().glVertex3d()*;
- **Material**: representação do material a ser acoplado a malha 3D, através da rotina *GLContext.getCurrent().getGL().glMaterialfv()*;
- **Texture**: representação da textura a ser assoado a cada triângulo da malha 3D, através da rotina *GLContext.getCurrent().getGL().glTexImage2D()*;
- **Color**: representação das cores de cada ponto do vértice pertencentes a malha, através da rotina *GLContext.getCurrent().getGL().glColor4bv()*;
- **Widgets**: representação de tipos de fontes e *labels* em ambiente 3D, através da rotina *glut.glutBitmapString()*.

Um outro ponto consiste no modo de integração de diferentes dispositivos, sendo possível através da especificação *Java Native Access (JNA)*, que realiza a tradução da biblioteca de acesso ao dispositivo fornecido pelo fabricante do dispositivo para a linguagem Java de programação. Os fabricantes dos dispositivos a serem integrados disponibilizam as bibliotecas de comunicação específicas para cada SO, desse modo, por exemplo, uma função que receba como parâmetro uma variável tipo *char*, deve ser mapeada como *byte* na linguagem Java. O processo de tradução deve obedecer a seguinte Figura 4.5 de conversão de parâmetros:

Native Type	Size	Java Language Type	Common Windows Types
char	8-bit integer	byte	BYTE, TCHAR
short	16-bit	short	short WORD
wchar_t	16/32-bit character	char	WCHAR, TCHAR
int	32-bit integer	int	DWORD
int	boolean value	boolean	BOOL
long	32/64-bit integer	NativeLong	LONG
long long, __int64	64-bit integer	long	
float	32-bit FP	float	
double	64-bit FP	double	
char*	C string	String	LPCTSTR
void*	pointer	Pointer	LPVOID, HANDLE, LPXXX

Figura 4.5: Tabela de conversão de tipos JNA.

4.2.5 Integração jChai3D

A biblioteca jChai3D teve por base as bibliotecas e arquiteturas estudadas: CHAI 3D e SOFA. Esta biblioteca é parte do projeto financiado pelo **Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia (INCT)**, com a finalidade de construção de um atlas de anatomia 3D, destinado ao aprendizado das estruturas, anatomias, patologias e fisiologia da mama.

Primeiramente decidiu-se que a linguagem deveria ser multiplataforma sem a necessidade de recompilação para diferentes ambientes. Desse modo foi decidido o uso linguagem Java em decorrência da sua compatibilidade com essa necessidade.

Em seguida, decidiu-se que o código e a biblioteca seriam baseados em licença GPL e distribuídos pelo site <http://sourceforge.net/projects/jchai3d/>. Contudo uma preocupação foi manter a velocidade de processamento, pois as duas (2) bibliotecas estudadas são escritas em C++, compatibilidade com diferentes hardwares de processamento gráfico e possibilidade de comunicação com os dispositivos de contato. Desse modo buscou-se uma padronização de acesso ao hardware de processamento gráfico denominada JOGL, baseada na *JSR 231: Java Binding for the OpenGL API*, em seguida, buscou-se uma padronização para a camada de apresentação, sendo comum para diferentes equipamentos, denominada JavaFX. Esta tecnologia permite que a mesma *interface* possa ser visualizada em diferentes equipamentos tais como *web, desktop, TV Digital e smart device's*. Outro ponto foi a padronização via JNA para acesso a equipamentos de diferentes fabricantes como as *interfaces* hápticas testadas no projeto (das fabricantes *Force Dimension e Sensable*).

Esse conjunto de tecnologias é representado na Figura 4.6 em formato de camadas, da mesma forma que o jChai3D está sendo estruturado, a fim de evitar alto acoplamento de tecnologias. Além das classes de tratamento gráfico, existem classes auxiliares que permitem a importação de modelos 3DS, OBJ e RAW, classes para conexão com as *interfaces* hápticas, classes de tratamento matemático, classes de tratamento de colisões e etc. Todas essas classes foram recodificadas do CHAI3D desenvolvido em C++ para Java em primeiro momento, em seguida, iniciou-se um processo de *refactoring*, a fim de simplificar o modo como as classes foram construídas e evitar o consumo inadequado de recurso.

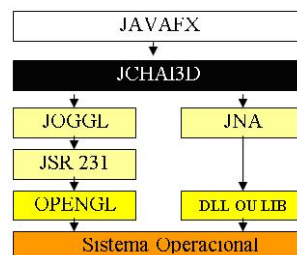


Figura 4.6: Camadas de integração jChai3D.

Estando a biblioteca totalmente portada e testada, iniciou-se o processo de validação como pode ser observado nas Figuras 4.7(a) e 4.7(b), no qual é apresentado a construção de uma janela de processamento gráfico baseado em Java e *OpenGL*, que emula uma janela gráfica do sistema

operacional com um objeto 3D importado de maneira triangularizada para o ambiente 3D e a ativação de *interfaces* hápticas, sendo na Figura 4.7(a) a ativação da *interface Force Dimension* e na Figura 4.7(b) a *interface Phantom*.

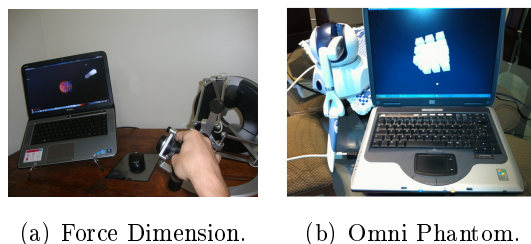


Figura 4.7: Simulações jChai3D com diferentes *interfaces* hápticas.

O desenvolvimento da *interface* dos simuladores é realizado de maneira gráfica, possibilitando a construção de um ambiente robusto e de fácil manutenção, tendo acesso a todos os componentes da biblioteca *Swing* e *JFX*, assim como interações com banco de dados, serviços *web* e ambiente 3D.

A IDE escolhida para desenvolvimento dos simuladores e construção dos projetos auxiliares e conhecida como *Netbeans*, estando atualmente na versão 7.1, com a integração do Plugin (*netbeansopenglpack0.5.5*), disponibilizando nesse ambiente a padronização JSR 231 de acesso aos recursos *OpenGL* via API *JOGL* versão 1.0, como pode ser observado na Figura 4.8. Após a integração desse Plugin é disponibilizado a opção para construção de projetos baseado na biblioteca *JOGL*, através da caminho da *IDE Netbeans: arquivo > novo projeto > java > jogl Application*. Posterior a construção do projeto básico, a biblioteca *jChai3D* precisa ser incorporada ao projeto *JOGL*.

A compilação do projeto gera arquivos para plataforma distintas, entre elas: windows 586, windows 64, linux 586, linux 64, solaris 586, solaris sparc e macosx, devido a biblioteca *JOGL* ser diferente para cada plataforma. Já existe uma previsão da Oracle em disponibilizar essa biblioteca em conjunto com a *JRE*, possibilitando a geração de códigos sem a necessidade de incorporar os respectivos jar's do projeto *JOGL* ao seu projeto. Um ponto importante é que a configuração padrão do projeto *JOGL* é destinado a plataforma windows-i586.

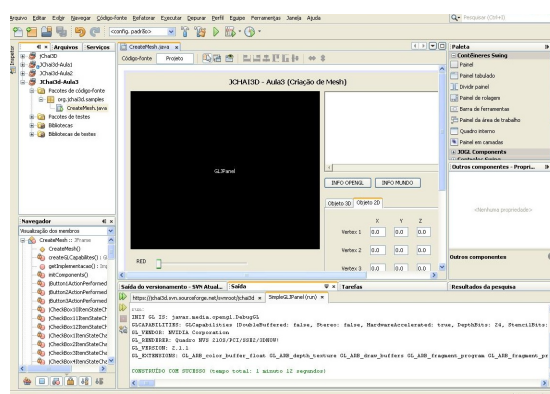


Figura 4.8: Ambiente de desenvolvimento Netbeans e jChai3D integrado.

Um ponto integrado pelo jChai3D que não é visível nas outras *frameworks* analisadas, corresponde a disponibilização da Cena Gráfica em formato XML, possibilitando que todo o conteúdo da simulação seja representado em arquivo descritivo, porém com a representação hierárquica. Para que essa funcionalidade seja possível é necessário incorporar a biblioteca *SimulationBuilder* ao projeto JOGL, sendo a mesma responsável por processar as informações existentes no arquivo XML e construir automaticamente os objetos jChai3D, relacionamentos e propriedades de cada instância de classe.

A biblioteca está organizado sobre os seguintes pacotes: *math*, *graphics*, *scenegrph*, *files*, *display*, *devices*, *collisions*, *deformation*, *forces*, *effects*, *tools* e *widgets*, tendo por base a hierarquia padrão de *frameworks* similares. Um outro ponto a ser ressaltado na estrutura da biblioteca, consiste no modelo de interação das classes que também é baseado nos padrões convencionais de simulação, este modelo é visível na Figura 4.9.

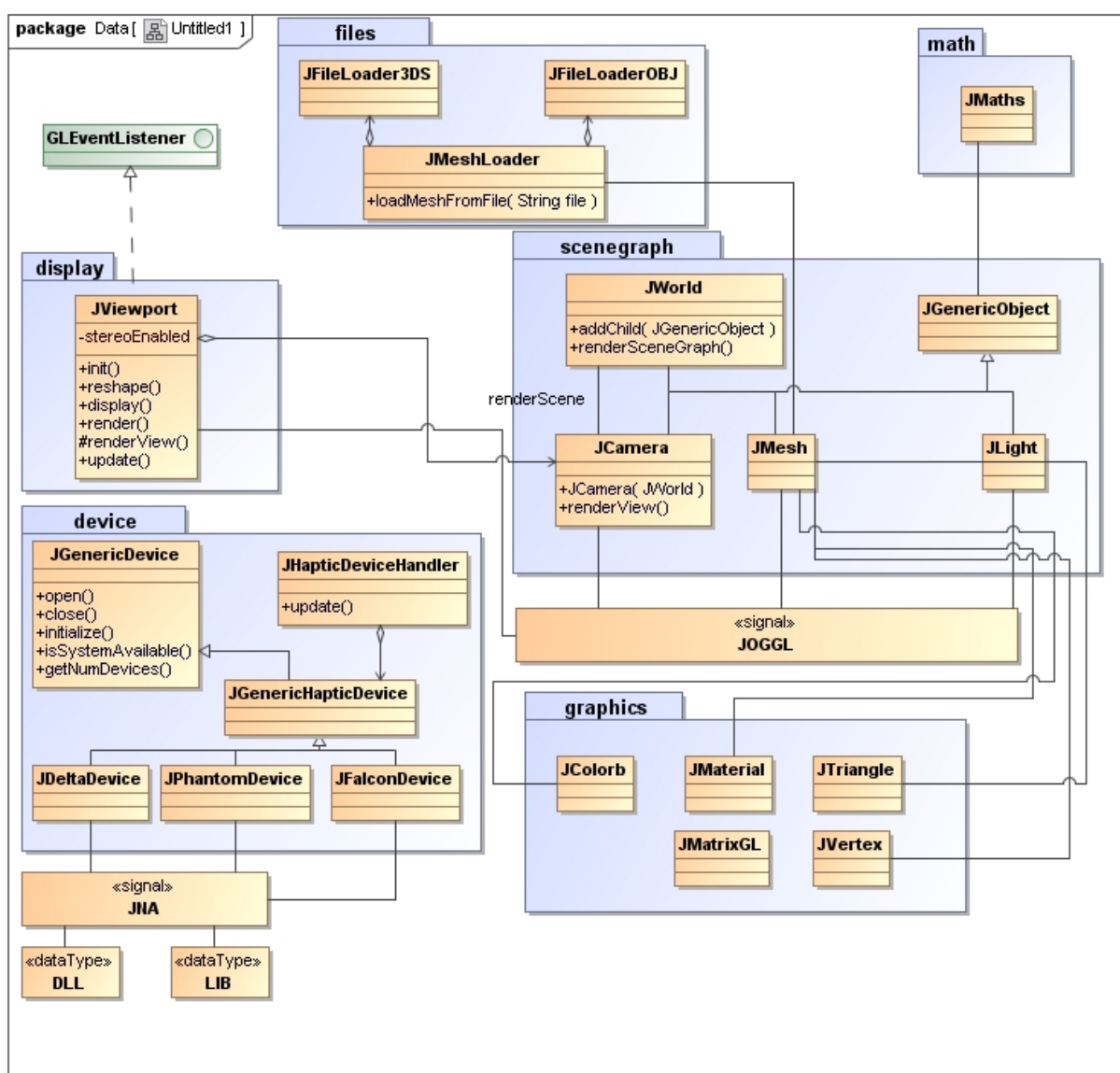


Figura 4.9: Interação de Objetos jChai3D.

Um ponto importante da arquitetura jChai3D consiste nas taxas de processamento gráfico e háptico, que são compatíveis com as demais bibliotecas destinadas a esse fim, mesmo as escritas em C ou C++. Essa estatística pode ser observada na Tabela 4.3 que apresenta os níveis de processamento em Frames por Segundo (FPS) de superfícies triangularizadas importados para a cena gráfica. Os testes descritos na Tabela 4.3 foram realizados em um PC Core i7, com CPU de 3.40 Ghz e 8Gb de RAM em SO *Windows 7*. A Tabela 4.4 apresenta as referências de processamento da biblioteca em C/C++ e Java, sendo possível observar que em média a biblioteca escrita em C/C++ é 5% mais rápida que a escrita em Java.

Tabela 4.3: Estatística de Desempenho jChai3D

Figura	Num de Triângulos	Proc Gráfico	Gráfico + Háptico
Probe Ultrassom	1.350	200Fps	125 Fps
Pistola	5.906	125Fps	85 Fps
Tronco Feminino	13.464	75Fps	60 Fps
Tronco Feminino + pistola	19.370	64Fps	54 Fps

Tabela 4.4: Estatística de Desempenho da Biblioteca da Universidade de *Stanford* - CHAI3D

Figura	Num de Triângulos	Proc Gráfico	Gráfico + Háptico
Probe UltraSom	1.350	213 Fps	129 Fps
Pistola	5.906	134 Fps	90 Fps
Tronco Feminino	13.464	79 Fps	64 Fps
Tronco Feminino + pistola	19.370	66 Fps	60 Fps

4.2.6 Detalhamento do Módulo 3D

O módulo 3D, responsável pela visualização do contexto em estudo em ambiente 3D agrega alguns requisitos de destaque e alguns deles até pioneiros. A biblioteca utilizada para redesenho gráfico consiste no jChai3D, uma biblioteca destinada a visualização, navegação e interação com objetos 3D e o uso de *interfaces* hápticas em plataforma Java. Outro ponto consiste na facilidade de construção da *interface* de visualização do estudante a partir de um conjunto de *plugin's* disponíveis para a *IDE Netbeans 7.1.1*, possibilitando o desenho da *interface* a partir da técnica "arraste e solte".

A *interface* pode ser disponibilizada tanto para ambiente *desktop* e *web*, sendo até possível a sua disponibilizarão para ambiente *mobile*, devido às atuais atualizações da JOGL 2.0 para ambiente *Android*. Ambos os modelos de aplicação utilizam a tecnologia *Java Network Launching Protocol* (JNLP) para ativação da aplicação via *Java Web Start*, permitindo que o executável, assim como suas dependências, possam ser disponibilizadas em um servidor de dados externo.

Nesse sentido, o estudante tendo conhecimento da URL que contém o arquivo de configuração

da aplicação JNLP, evoca a aplicação e o executada a partir da funcionalidade "javaws" disponível na JRE do Java. Esse recurso do Java carrega a aplicação assim como as dependências e ativa automaticamente a aplicação.

O arquivo JNLP, que armazena a configuração da aplicação *Módulo 3D* da arquitetura, é exemplificado na Figura 4.10 e detalhado em cinco grupos: (i) armazena o nome e a localização do repositório de dados, (ii) armazena as informações básicas da aplicação, (iii) indica o modo de atualização da aplicação após o acesso, (iv) indica a versão de execução do Java, assim como a aplicação principal e suas dependências, nesse caso encontra-se a JOGL, JNA e a jChai3D. Por último, (v) a classe que contém o "main" da aplicação, que foi ativada após o *download* de toda a aplicação.

```

<?xml version="1.0" encoding="UTF-8" standalone="no"?>
<jnlp href="launch.jnlp" spec="1.0+" codebase="http://localhost:8080/jASH"> (i)
  <information>
    <title>Applet3D</title>
    <vendor>T315443</vendor> (ii)
    <homepage href="" />
    <description>Applet3D</description>
    <description kind="short">Applet3D</description>
  </information>
  <update check="always"/> (iii)
  <resources>
    <j2se version="1.6+"/>
    <jar href="Applet3D.jar" main="true"/> (iv)
    <jar href="lib/gluegen-rt.jar"/>
    <jar href="lib/jogl.all.jar"/>
    <jar href="lib/jna.jar"/>
    <jar href="lib/platform.jar"/>
    <jar href="lib/jChai3D.jar"/>
  </resources>
  <applet-desc height="300" main-class="applet3d.Applet3D" name="Applet3D" width="300">
  </applet-desc> (v)
</jnlp>

```

Figura 4.10: Configuração JNLP para ativação da aplicação 3D.

O processo háptico integrado à arquitetura em detrimento das implementações existentes no jChai3D permite a comunicação com dispositivos robóticos disponibilizados para este projeto, que são, *Omega 7* da empresa *Force Dimension*, que é conectado a estação de simulação via porta USB 4.11(a) e *Interface Omni Phantom* da empresa *Sensable*, que é conectado via porta *Fire Wire* 4.11(b).



Figura 4.11: *Interfaces Hápticas Testadas e Integradas ao Módulo 3D.*

Tanto a *interface Omni Phantom* quanto a *Omega 7*, ou outra qualquer como *interface* háptica, captam as componentes de Força, Torque, Posição e Velocidade Linear processados pelos micromotores em resposta ao movimento do braço robótico durante a simulação, e repassam tais informações para o processo de deformação, após a ocorrência da detecção de colisão.

O processo de detecção de colisão responsável pelo processo de ativação da deformação também interfere no desempenho da simulação. Nesse sentido, o jChai3D disponibiliza os algoritmos convencionais para tal processo, por exemplo, o *Axis-Aligned Bounding-Box* AABB que circunda os objetos da cena em caixas virtuais e verifica se os limites intersectam em todas as dimensões, tendo como resposta o vetor de coordenadas do local onde ocorreu a colisão. Este processo é observado na simulação de detecção de colisão apresentada na Figura 4.12, onde a *interface* virtual de simulação do jChai3D colide sobre a superfície dos objetos da cena simulada e altera a característica do objeto. Neste caso, o teste ativa a propriedade *wire* dos triângulos da *mesh* colidida.

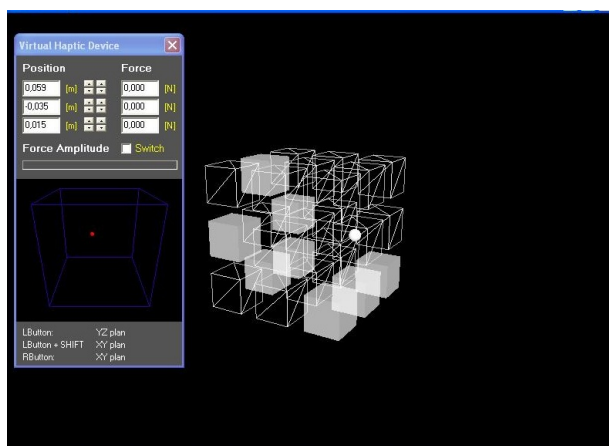


Figura 4.12: Processo de Colisão jChai3D em *Windows* 32 bits.

Em simulações complexas é necessário que a *interface* háptica seja representada por uma estrutura 3D que conceba a atuação real de simulação. Nesse sentido, como o escopo do trabalho abrange a simulação do procedimento *Core Biopsy*, os componentes deste escopo foram carregados no módulo 3D e representados na Figura 4.13, a fim de permitir a validação da arquitetura inicial. Contudo, o processo de colisão da *mesh* secundária que representa a *interface* háptica com a *mesh* principal e realizada pelo contato da uma esfera que existe na ponta da *interface*, facilitando o processo de detecção de colisão e o processamento da deformação.

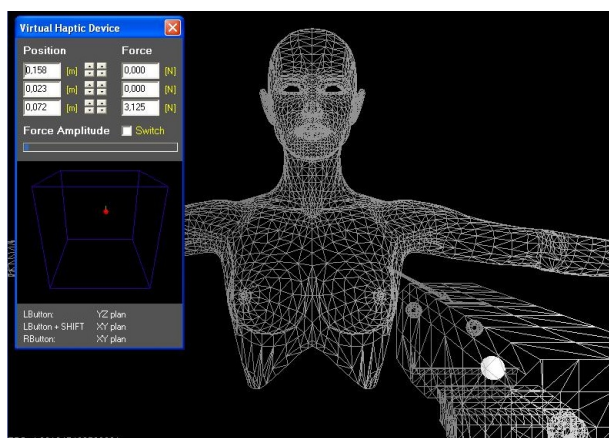


Figura 4.13: Simulação Complexa com *Mesh's* e Interface Háptica Virtual.

4.2.7 Integração Jess

Este trabalho admite como pré-requisito o uso da linguagem Java para desenvolvimento, foi necessário pesquisar uma *framework* que desempenha as mesmas características do *Expert Sinta* utilizado na arquitetura de Curilem (2002) [74]. Desse modo foi identificado que a *framework* denominada *The expert system Shell for the Java platform (Jess)* [159], exemplificada na Figura 4.14 pode ser utilizado para substituir a tecnologia anterior.

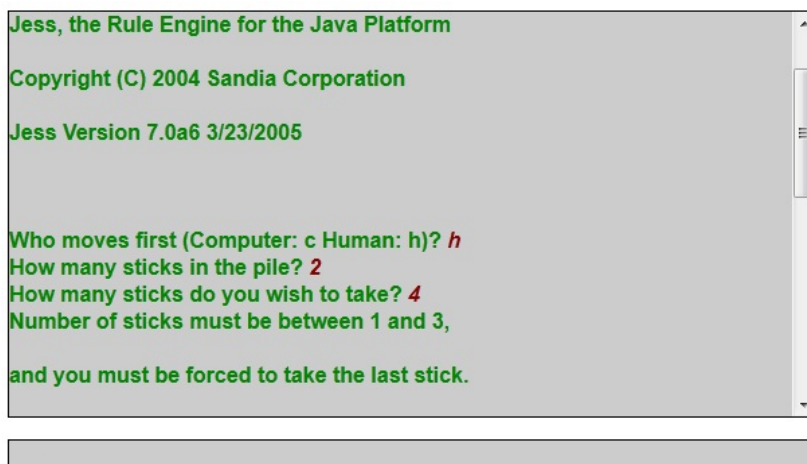


Figura 4.14: Interface de Interação Jess [159].

Sendo o *Jess* um *shell* alguns comandos básicos são necessários para a melhor compreensão da tecnologia:

- **Jess > exit**: solicita a saída da *interface* do Jess;
- **Jess > batch teste.clp**: carrega um conjunto de regras a base de conhecimento do Jess;
- **Jess > reset**: limpa a base de conhecimento;
- **Jess > str-length "howdy"**: retorna o tamanho da string;
- **Jess > str-compare "Aggie" "Aggie"**: realiza a comparação de string's, retornando 0 se forem idênticas;
- **Jess > bind ?x "Howdy"**: associa a variável x, identificado pelo caracter "?" ao conteúdo "Howdy";
- **Jess > bind \$?courses (create\$ 625 629 613 606)**: cria uma lista de valores identificados pela variável "courses";
- **Jess > first\$ \$?courses**: retorna o primeiro elemento da lista "courses" e remove da lista;
- **Jess > rest\$ \$?courses**: retorna os elementos restantes da lista;
- **Jess > complement\$ \$?courses create\$ 601 602 603 604 605 629 613**: retorna todos os elementos da segunda lista que não fazem parte da primeira lista;

- **Jess > defglobal ?*a* = 100**: cria uma variável global, que mesmo após o reset seu valor permanece como o definido inicialmente;
- **Jess > eq ?x 1**: verifica se a variável x é igual a 1 e retornar verdadeiro ou falso;
- **Jess > integerp ?x**: retorna verdadeiro ou falso se a variável x é inteira;
- **Jess > = (integer ?x) 1**: realiza um cast na variável x questionado se é igual a 1;
- **Jess > (and (= ?x 1) (< ?x 0))**: realiza a operação lógica and, questionando se o primeiro bloco e o segundo são verdadeiros;
- **Jess > (or (= ?x 1) (< ?x 0))**: realiza a operação lógica or, questionando se o primeiro bloco ou o segundo são verdadeiros;
- **Jess > (not (= ?x 5))**: nega o teste realiza no primeiro bloco;

Tendo como base o exemplo de regra de avaliação de estilo de aprendizagem descrito na Tabela 3.1, a mesma pode ser expressa pelo seguinte script Jess 4.5.

Listing 4.5: *Script Jess*

```
Jess > bind ?regra1 "Aprendo_melhor_algo_novo_quando_posso"
Jess > bind \ $?resp_regra1 (create \$
    "falar_sobre_ele" $ $ "pensar_sobre_ele")
Jess > bind \ $?vlr_resp1_regra1 (create \$
    "Ativo_CNF_40\%" $ $ "_Reflexivo_CNF_1\%")
Jess > bind \ $?vlr_resp2_regra1 (create \$
    "Reflexivo_CNF_40\%" $ $ "_Ativo_CNF_1\%")
Jess > eq (?resp "falar_sobre_ele")
```

4.3 Acesso ao Protótipo

Por ser um sistema de acesso remoto, o estudante ou especialista precisa ter acesso a *internet* de alta velocidade com pelo menos 3Mbps e uma estação de processamento de 2.4 GHz, 2 GBRAM, placa gráfica de 512 MB que atenda ao padrão *OPENGL* e SO *Windows, Linux ou Mac*. Dessa forma, o estudante ao conectar a *Internet* através dos *navegadores Internet Explorer, FireFox ou Crome* processa a URL que armazena o protótipo da arquitetura do jASM, www.lisweb.unb.br/jasm, sendo em seguida, apresentada a página inicial do sistema exemplificada na Figura 4.15, após o download dos módulos essenciais de modo automático.

A tecnologia *JApplet* utilizada na construção da *interface* básica de validação da arquitetura é uma evolução da antiga tecnologia *Applet*, contudo integrando componentes mais modernos do tipo *Swing*. Essa tecnologia integrada com a *interface* visual do *NetBeans 7.1.1*, permite a criação simplificada da *interface* gráfica, além da possibilidade de ativação e incorporação de dependências

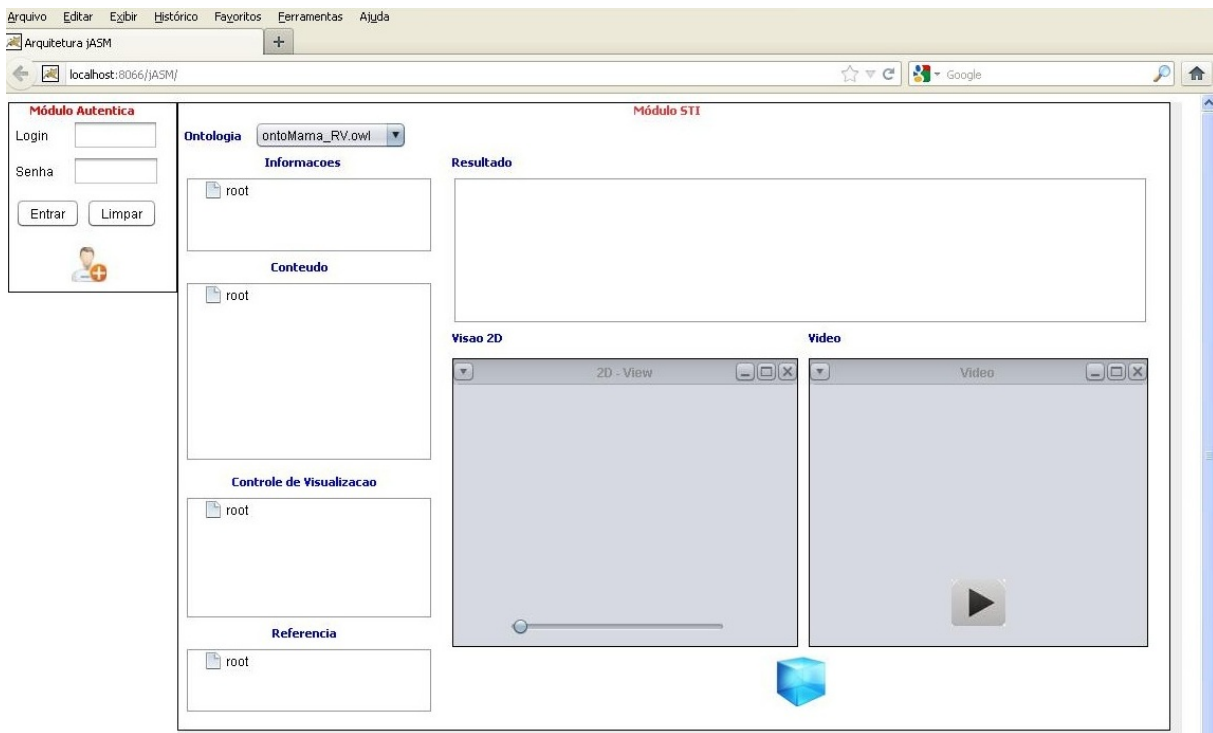


Figura 4.15: Página inicial do jASM.

do módulo via tecnologia JNLP. Dessa forma, os códigos HTML que ativam o sistema são simples, como exemplificado no código HTML disposto à seguir 4.6.

Listing 4.6: Código Principal jASM

```
<%@page contentType="text/html" pageEncoding="ISO-8859-1"%>
<html>
  <body>
    <applet align="left" width="20%" height="40%">
      <param name="jnlp_href" value="autenticacao.jnlp"/>
      <param name="jnlp_perfil" value="perfil.jnlp"/>
    </applet>
    <applet align="center" width="60%" height="80%">
      <param name="jnlp_href" value="sti.jnlp"/>
      <param name="comando_javaws" value="javaws"/>
      <param name="jnlp_simulador" value="viewMode3D.jnlp"/>
    </applet>
  </body>
</html>
```

Na *interface* inicial do sistema, o aluno ou especialista, precisa se autenticar para usufruir das funcionalidades do sistema. Contudo é necessário que o mesmo crie um perfil de acesso através da funcionalidade "Perfil", disponibilizada no módulo de autenticação. Como já mencionado na Metodologia, durante a criação do perfil serão levantados parâmetros iniciais que identificam o

perfil básico do usuário, além de aspectos ligados ao estilo de aprendizagem através de um Shell Especialista construído sobre a plataforma Jess, como pode ser observado a Figura 4.16.

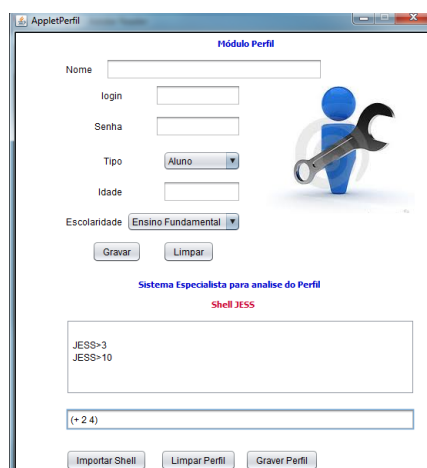


Figura 4.16: Protótipo para configuração do perfil de acesso.

Após a criação do perfil, que identifica o usuário do sistema, é possível que o mesmo se autentique utilizando o *login* e a senha criados no módulo perfil. Mediante a autenticação, o usuário terá acesso ao Módulo Interface, caso contrário, o módulo fica desabilitado.

O Módulo Interface disponibiliza diferentes áreas de visualização do conteúdo, conforme a configuração do perfil inicial. Primeiramente, o usuário seleciona o conteúdo em formato de ontologia disponível na *comboBox*, onde inicialmente apenas a OntoManaRV está acessível, entretanto, é possível disponibilizar outras ontologias no protótipo.

Após a seleção, as informações existentes são devidamente processadas e disponibilizadas nas áreas de conteúdo, resultado, configuração, referência, imagem e vídeo, além do ambiente que ativa o Módulo 3D. Toda interação nos componentes do sistema são armazenadas na tabela status, para posterior processamento da rede IAC.

Como mencionado anteriormente, as classes da ontologia que detêm o conteúdo semântico e representa a delimitação da área em estudo, são dispostos em modo de *árvore* na área de *Conteúdo*, possibilitando que o usuário possa selecionar o assunto desejado. Após a seleção de uma classe específica, as configurações de indivíduos, propriedades e relacionados dessa classe são novamente processados e dispostas nas áreas, como pode ser observada na Figura 4.17:

- **Resultado:** dispõem as informações configuradas para esse tipo de *interface* com o conteúdo customizado para o respectivo perfil do usuário, lembrando que o módulo tutor pode atualizar o perfil do mesmo;
- **Controle:** dispõem as informações de configuração dos indivíduos da classe selecionada, como por exemplo: imagens 2D, vídeos, áudio e cenas gráficas;
- **Referência:** apresenta as referências bibliográficas do conteúdo apresentado;

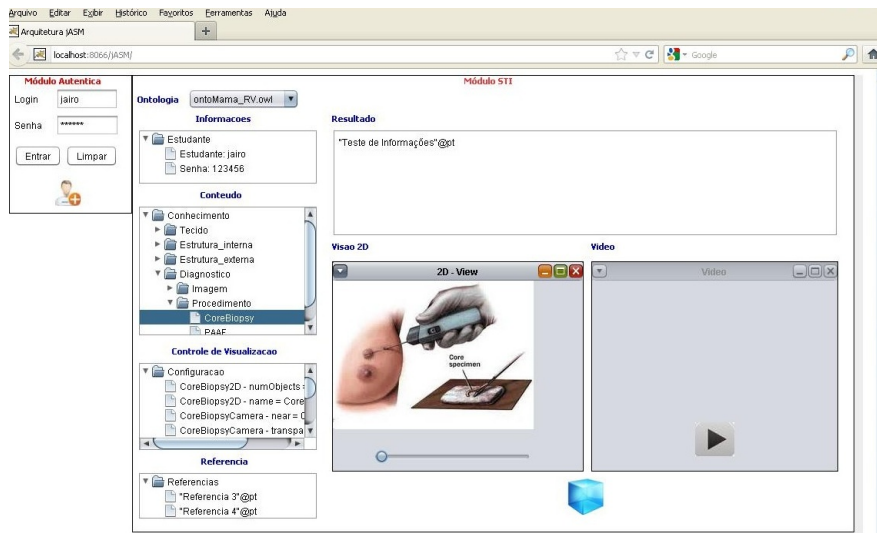
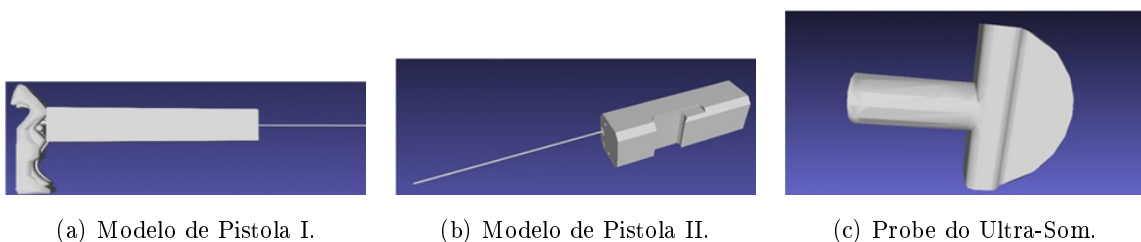


Figura 4.17: Disposição do conteúdo e configurações no protótipo.

O fato da arquitetura permitir a concepção de uma cena gráfica e associar a cena a uma classe da ontologia é possível conceber não só visualização do modelo 3D da classe e sim uma área de simulação com processos complexos, como por exemplo: processos de deformação, tratamentos de colisão, interação háptica e conteúdo semântico em ambiente 3D que em sua totalidade compõem um simulador de procedimentos cirúrgicos. Essas configurações são representadas por instâncias de classes na ontologia e disponibilizadas pelo Módulo de Conteúdo ao Módulo 3D.

Nesse sentido, como esse trabalho é focado nas estruturas internas e externas da anatomia mamária é possível acrescentar a simulação de procedimentos cirúrgicos voltadas a esse contexto, como por exemplo a Punção por Agulha Fina (PAAF) e a Punção por agulha grossa (*Core Biopsy*) descritos anteriormente.

Por recomendação da especialista da área da saúde que orienta esse trabalho, a simulação recomenda para validação da arquitetura foi a *Core Biopsy* orientada por ultrassom. Dessa forma, a configuração da cena gráfica para simulação do procedimento *Core Biopsy*, observou-se o modo como o procedimento é realizado na prática. De acordo com o relato do especialista da área médica, seria necessário modelar dois (2) instrumentos cirúrgicos: (i) a agulha e a pistola, responsáveis pela coleta do tecido representado pelos modelos 4.18(a) e 4.18(b) e (ii) o *probe* do ultra-som, pois o procedimento é guiado por imagens de ultra-som 4.18(c). Dessa forma, seria necessário a ativação de duas (2) *interfaces* hápticas, sendo uma para cada instrumento, no mesmo ambiente 3D.



(a) Modelo de Pistola I.

(b) Modelo de Pistola II.

(c) Probe do Ultra-Som.

Figura 4.18: *Instrumentos Cirúrgicos da Core Biopsy.*

Desse modo, a pistola virtual que simula a coleta dos tecidos do tumor a serem estudados, penetra na superfície da mama 4.19(a) gerando uma deformação inicial, que rompe a malha até chegar a localização do tumor 4.19(b). No procedimento real a pistola realiza seis coletas de tecido para execução da biópsia, no modo virtual foi simulado a coleta de seis micro-esferas, buscando retratar a realidade do processo.

A malha que representa a estrutura externa do tronco feminino foi dotada de objetos tipo *Efects* do *jChai3D*, que busca configurar o material do modelo 3D. As partes internas como a gordura, glândulas, vasos e o tumor, também serão dotadas dessa propriedades, proporcionando diferentes efeitos durante a deformação.

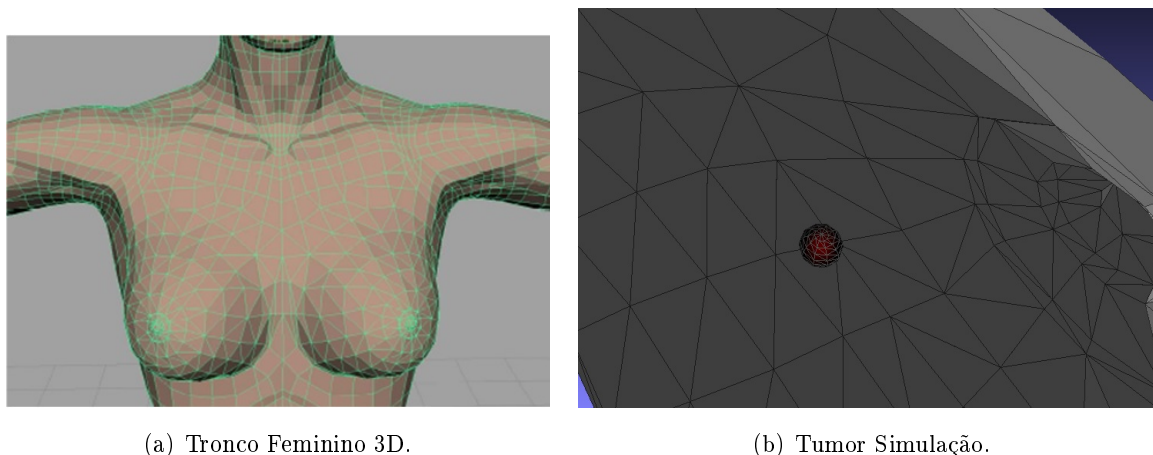


Figura 4.19: Ambiente de Simulação de Procedimento Cirúrgico.

No protótipo de validação da arquitetura, no momento em que o usuário seleciona o procedimento *Core Biopsy* existente na árvore de conteúdo para estudo em ambiente 3D, a arquitetura verifica todas as necessidades do equipamento cliente, tais como: versão do Java, tipo de navegador, existência de placa gráfica com extensão *OpenGL* e restrições do SO cliente, sendo configurado automaticamente as dependências como disposto na Figura 4.20.

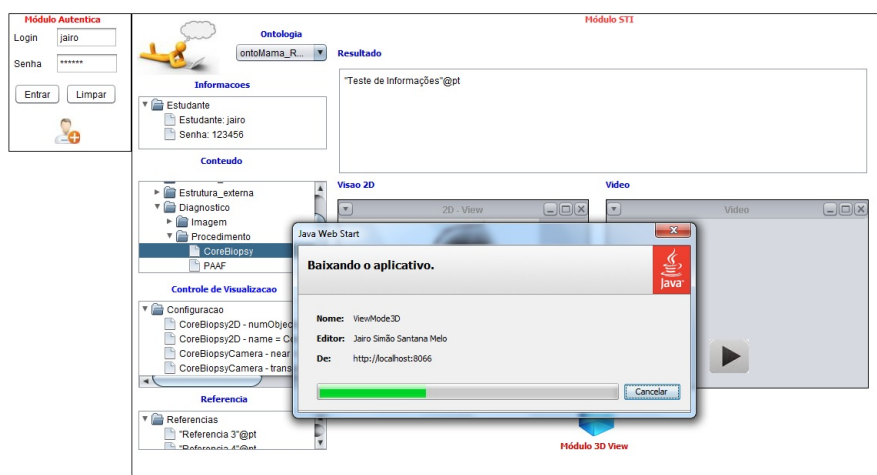


Figura 4.20: Configuração automática da máquina do usuário.

Em seguida, o ambiente de simulação é apresentado com todas as características pré-configuradas

na ontologia, possibilitando a simulação do procedimento cirúrgico desejado, nesse caso a *Core Biopsy* exemplificada na Figura 4.21.

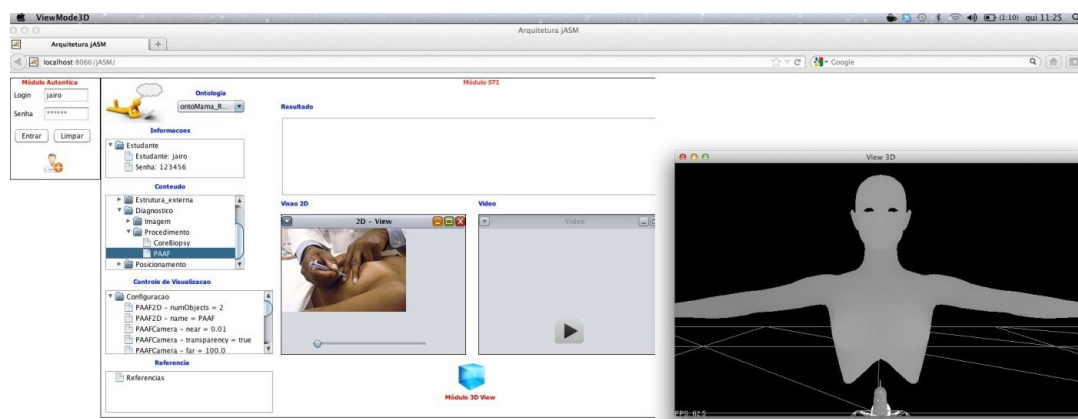


Figura 4.21: Ativação do Ambiente de Simulação 3D.

Na simulação do procedimento *Core Biopsy* foco desse trabalho, retratada na Figura 4.22, a superfície do tronco feminino foi importada pelo jChai3D baseado no padrão OBJ de representação superfícies. A pistola responsável pela coleta dos tecidos também é importada, porém associada a *interface* de contato. Desse modo, os movimentos gerados pelo usuário da *interface* refletem no movimento da malha que representa a pistola.

O aprendiz dotado dessa tecnologia interage com a superfície triangularizada do tronco feminino através de uma *interface* háptica, representada virtualmente por uma malha 3D. Nesse caso, foram feitos testes com as *interfaces Omni Phantom e Force Dimension*, além da *interface* virtual de contato provida pelo grupo de robótica de *Stanford*, porém esse último restrito ao ambiente *Windows*.

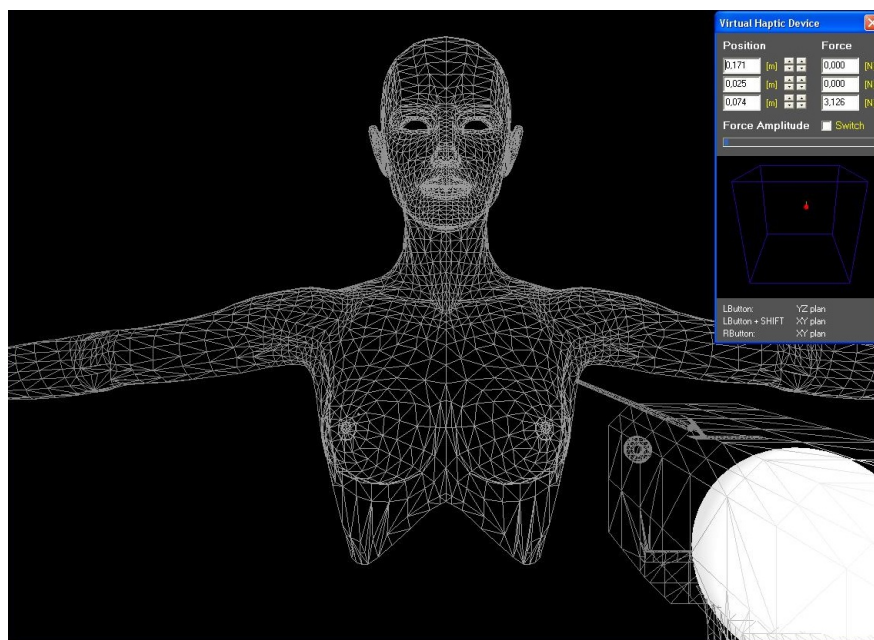


Figura 4.22: Simulação 3D do procedimento *Core Biopsy*.

4.4 Validação

O processo de validação desse trabalho buscou enfatizar inicialmente a arquitetura proposta nessa tese. Desse modo, dois (2) grupos de validação foram configurados: **Arquitetos de TI**, profissionais com ótima experiência de desenvolvimento, e **Professores com Conhecimento Correlato**, professores que realizam pesquisa correlatas aos tópicos da tese, contudo a abordagem de validação diferenciada. Aos **Arquitetos de TI** foi enviado um *e-mail* com uma descrição básica da arquitetura, o diagrama esquemático e um questionário. O outro grupo composto por **Professores com Conhecimento Correlato** foi realizado uma apresentação formal da arquitetura de modo presencial ou virtual e a respectiva entrevista foi gravado.

A elaboração de um questionário onde se possa colher dados que reflitam exatamente as informações sobre a pesquisa é o primeiro passo. Após elaborar o instrumento, este deve passar por um processo de validação de forma que seja aceito e melhorado e que se torne uma verdadeira e útil ferramenta para se coletar dados que sejam analisados trazendo informações úteis para a pesquisa.

Segundo Reichenheim [160], as diferentes etapas da elaboração de um novo questionário são:

- explicitação dos conceitos a estudar e as respectivas dimensões;
- proposição de itens que representem as dimensões a estudar;
- seleção dos itens que comporão as primeiras edições do instrumento (protótipo);
- discussão do sistema de escores/opções de respostas;
- redação das perguntas;
- pré-teste;
- avaliação das características psicométricas dos protótipos;
- seleção do instrumento final;
- estudos de corroboração.

Existem dois (2) tipos básicos de questões com diferentes propósitos: questões abertas e questões fechadas. As questões abertas são utilizadas quando objetivo é permitir que o respondente utilize suas próprias palavras para respondê-la. As questões fechadas são mais comuns e formam a base para a maioria das medições-padrão da pesquisa. Este tipo de pergunta oferece ao respondente um leque de respostas previamente selecionadas.

Mediante a esses conceitos elaborou-se um questionário descrito na Tabela 4.5, buscando validar vários aspectos da arquitetura tais como: viabilidade, modularidade, comunicação, tecnologia, integração, linguagem e acoplamento. Esse questionário foi construído e disponibilizado pela ferramenta *Google Form* disponível a qualquer usuário que tem acesso ao antigo *Google Docs* ou atual *Google Drive* possibilitando que o avaliador tenha acesso ao questionário pela *internet*.

Tabela 4.5: Conjunto de Questões e Objetivos do Questionário

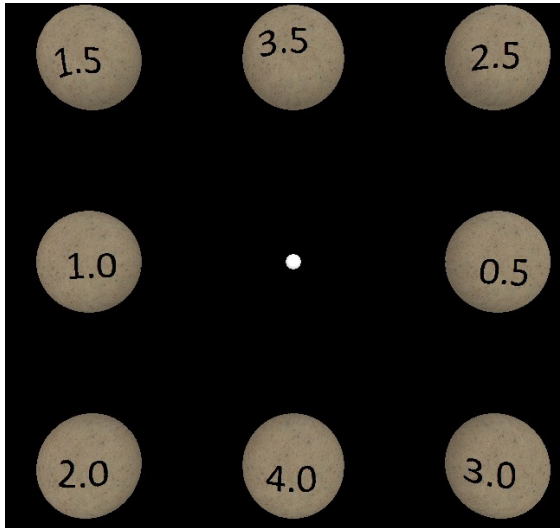
Questionamento	Objetivo
1-Qual o grau de complexidade observado na arquitetura ?	Busca avaliar em uma escala de 0 a 10 de acordo com a experiência do arquiteto se a complexidade proposta é viável.
2-Qual o grau de concordância em relação as tecnologias e padrões adotados na arquitetura ?	Busca avaliar em uma escala de 0 a 10 de acordo com a experiência do arquiteto se as tecnologias e padrões utilizados estão de acordo com as melhores práticas.
3-Se você teve-se que desenvolver um sistema de ensino que utilize visualização 3D e <i>interface</i> adaptativa, qual o grau de recomendação dessa arquitetura ?	Busca avaliar em uma escala de 0 a 10 de acordo com a experiência do arquiteto se a arquitetura proposta pode ser adotada como uma proposta de <i>interface</i> adaptativa com visualização 3D.
4-Qual a sua avaliação perante à arquitetura proposta ?	Busca avaliar em uma escala de 0 a 10 de acordo com a experiência do arquiteto se a arquitetura proposta é aceitável.
5-Que nota você atribui a grau de acoplamento dos módulos da arquitetura ?	Busca avaliar em uma escala de 0 a 10 o grau de acoplamentos dos módulos.
6-Quais são os pontos fortes dessa arquitetura aplicados a concepção de sistema de ensino ?	Busca identificar quais pontos fortes o arquiteto identificou na arquitetura proposta.
7-O objetivo dessa arquitetura visa atender requisitos de integração de diferentes domínios com a finalidade de conceber um Sistema Tutor Inteligente. Na escala apresentada você considera que os objetivos foram atendidos ?	Busca avaliar em uma escala de 0 a 10 de acordo com a experiência do arquiteto se os requisitos presentes no <i>e-mail</i> foram atendidos.
9-Você utilizaria <i>Web Service</i> como mecanismo de comunicação entre os módulos. Em que grau ?	Busca avaliar em uma escala de 0 a 10 Busca avaliar

Uma segundo ponto de avaliação da arquitetura consiste em verificar a viabilidade do simulador proposto e se o mesmo pode ser utilizado como meio de treinamento de procedimento do *Core Biopsy*. Nesse sentido, o simulador foi avaliado pela **Clínica Janice Lamas Radiologia** e um relatório foi apresentado pela especialista.

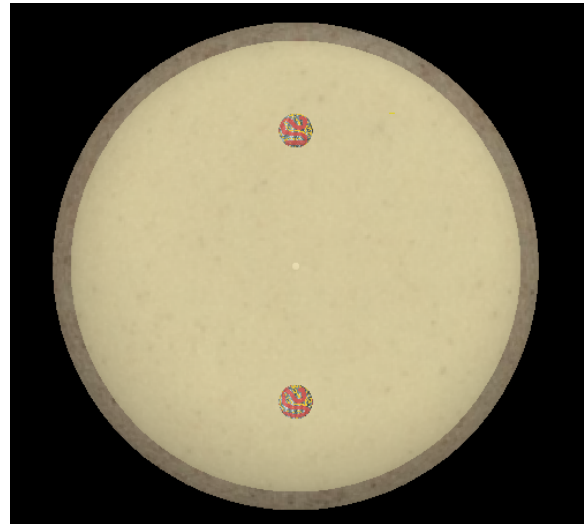
Hoje de acordo com a especialista médica orientadora da tese, o treinamento desse procedimento é baseado em recipientes com gelatina ou peito de frango que representa a pele e azeitonas submersas simulando pequenos nódulos a serem pulsados. Entretanto a proposta de uso de uma *interface* virtual em ambiente 3D, pode contribuir no ensino do procedimento.

Nesse sentido, um conjunto de três (3) especialistas da **Clínica Janice Lamas Radiologia**

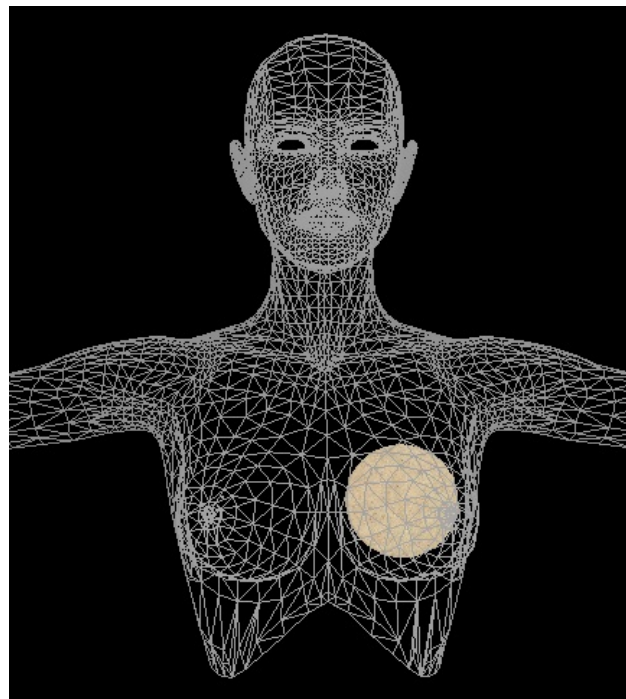
foram submetidos a uma *interface* 3D contendo oito (8) esferas com densidades diferentes como observado na Figura 4.23(a), com a finalidade de calibrar os tecidos do simulador **Core Biopsy**, entre eles tecido conjuntivo mamário e carcinomas simulados. Após a simulação, o tecido conjuntivo foi calibrado com a viscosidade de 2.0 e a densidade do carcinoma com viscosidade de 3.5 exemplificado na Figura 4.23(b) e em seguida os tecidos, carcinomas e densidades foram integrado ao tronco feminino representado na Figura 4.23(c)



(a) Esferas com densidades diferentes.



(b) Tecido conjuntivo e Carcionas calibrados.



(c) Tecidos calibrados ativos no tronco feminino.

Figura 4.23: Calibrando estruturas internas da mama com as densidades escolhidas.

4.5 Resultados

O *e-mail* que contém as informações da arquitetura a ser validada foi encaminhado a um grupo de 45 arquitetos de instituições renomadas do Brasil e do exterior, entre elas: IBM, *Microsoft*, HP, *Google*, TJDF, STF, STJ, TCU, TST, TSE, ATP, *Foton*, SERPRO, Banco do Brasil, Caixa Econômica Federal e Ministério da Ciência e Tecnologia. Em relação ao grupo dos arquitetos, trinta e três (33) responderam o questionário e os seguintes resultados de cada pergunta fechada foram expressos pelas funções de média e mediana na etapa seguinte.

- **1-Qual o grau de complexidade observado na arquitetura ?**: Média (7.4) e Mediana(7);
- **2-Qual o grau de concordância em relação as tecnologias e padrões adotados na arquitetura ?**: Média (7.5) e Mediana(7);
- **3-Se você teve-se que desenvolver um sistema de ensino que utilize visualização 3D e *interface* adaptativa, qual o grau de recomendação dessa arquitetura ?**: Média (8.3) e Mediana(8);
- **4-Qual a sua avaliação perante à arquitetura proposta ?**: Média (7,6) e Mediana(7);
- **5-Que nota você atribui a grau de acoplamento dos módulos da arquitetura ?**: Média (3.4) e Mediana(3);
- **6-Quais são os pontos fortes dessa arquitetura aplicados a concepção de sistema de ensino ?**: "Arquitetura Orientada a Serviços", "Padronização da Linguagem de Desenvolvimento", "Visualização 3D", "Possibilidade de construção de uma *interface* adaptativa ao perfil do usuário";
- **7-O objetivo dessa arquitetura visa atender requisitos de integração de diferentes domínios com a finalidade de conceber um Sistema Tutor Inteligente. Na escala apresentada você considera que os objetivos foram atendidos ?**: Média (6) e Mediana(7);
- **8-Você utilizaria a linguagem de programação Java em ambientes de Realidade Virtual que envolvem Renderização Gráfica, Renderização Háptica, Colisão e Deformação. Em qual grau ?**: Média (3.6) e Mediana(3);
- **9-Você utilizaria *Web Service* como mecanismo de comunicação entre os módulos. Em que grau ?**: Média (6.5) e Mediana(6).

A pergunta aberta, responsável por armazenar as considerações do revisor foi preenchida por apenas oito (8) revisores, algumas delas serão transcritas a seguir:

- **Arquiteto - Revisor 1**: "achei interessante a utilização da linguagem Java para codificação, acho que teria reduzido bastante a complexidade utilizando camada *Rest* do *framework*

Spring Web, e o seu fantástico *Dependency Injection* (DI), pois os componentes EJB seriam escondidos e não havia a necessidade de gerenciá-los diretamente, também evitaria a necessidade de definição desenhar todo um esquema de mensageria WSDL, como formato de transporte o uso do JSON e não XML também deixaria o sistema mais simples e portátil por exemplo, podendo ser integrado mais facilmente a aplicações *web* baseadas em *javascript* (SPA), como protocolo de autorização usaria o *Auth*. Porém observando as decisões de projeto acho o sistema muito bem desenhado, as várias partes podem ser substituídas sem afetar gravemente as demais, ele irá atender ao que se propõem, utiliza fortemente padrões acadêmicos como antologias. Parabéns pelo Projeto."[...];

- **Arquiteto - Revisor 2:** "a pergunta 8 eu não tenho opinião, pois não conheço profundamente a área. Já utilizei OWLAPI e não recomendo. Na arquitetura, não há clareza como o sistema é portátil para diferentes domínios e como a *interface* é adaptada. A visão ainda está muito abstrata para julgar alguns aspectos, como perfilamento, múltiplos domínios de conhecimento e modelagem pedagógica. Não está claro o módulo de RNA na arquitetura. A ontologia deveria estar fora de qualquer módulo. Outra ponto, não usar ontologia como arquivo, é melhor armazenar as triplas em RDB, caso contrário, haverá problemas sérios de performance e queda de produtividade de desenvolvimento."[...];
- **Arquiteto - Revisor 3:** "primeiro gostaria de parabenizá-lo pelo trabalho que, sem dúvidas, é muito interessante. Em alguns pontos considero sua arquitetura bastante elegante por provocar forte desacoplamento mas considerando a explosão no mercado de *Web Services* simplificados em *Rest* gostaria de sugerir a exposição da sua camada de EJB neste formato. A alguns anos estudei superficialmente o mundo dos *Rule Engines* e percebi que o *Drools* da RedHat tem um *core engine* muito bom e simples, pode ser uma boa alternativa ao Jess que, ao meu ver, não tem tão boa documentação. Permite, inclusive, o uso de DSLs que simplificam bastante o processo de deploy de novas regras. Confesso que a retroalimentação do perfil via interação do usuário me surpreendeu. Esse tipo de coisa, em si, pode ser muito útil em uma diversidade de projetos. Quem gosta de ver sempre a mesma coisa apresentada mesmo que não use com frequência?"[...].

Em relação a avaliação presencial ou virtual realizada com o grupo de três (3) professores especialista na área de desenvolvimento de sistemas de ensino com características similares a dessa tese, as avaliações foram transcritas do áudio gravado nas reuniões e sumarizadas nos seguintes textos:

- **Especialista - Revisor 1:** "a arquitetura apresentada retrata os módulos necessários e complementares em sua complexidade para a concepção de um sistema de ensino. O fato da arquitetura inserir os módulo conteúdo, perfil e tutor retrata a preocupação da mesma em manter compatibilidade com os padrões adotados na academia. Considero como aspecto inovador a associação da modelagem da ontologia que representa o conteúdo do especialista com a representação de cenas gráficas, retratando em alguns aspectos características não visíveis no conteúdo. Outro ponto que considero relevante consiste na comunicação baseada em *Web Service* e a distribuição do processamento em EJB's.";

- **Especialista - Revisor 2:** "o Diagrama apresentado e explanado pelo aluno apresenta uma arquitetura de software que tem por finalidade a concepção de ambientes de ensino com a possibilidade de visualização do conteúdo em ambiente 3D. Esse ponto entendo como inovador na arquitetura apresentada, pois em sistemas convencionais esse ponto não é abordado. Entretanto acredito que a linguagem Java para algumas tipos de processamento, como por exemplos as simulações pretendidas não seria uma boa escolha, devido as bufferizações da mesma.";
- **Especialista - Revisor 3:** "o aluno propôs uma arquitetura que permite a comunicação dos 6 módulos baseado em *Web Service*, ponto importante para a modularização da aplicação. Os módulos Conteúdo, Perfil, Tutor e Interface são comuns em outras arquiteturas destinadas ao ensino, o módulos de autenticação é comuns em qualquer arquitetura de software, contudo o módulo de visualização 3D é o ponto forte da arquitetura, pois permite que cenas gráficas sejam apresentadas, agregando um maior realismo a visualização do conteúdo, como exige por exemplo à área médica".

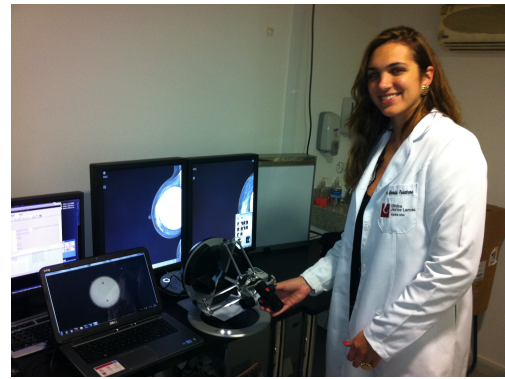
Dentre esse conjunto de resultados algumas análises podem ser vislumbradas:

- **Análise 1:** de acordo com os especialistas a característica marcante da arquitetura foi a adição do módulo de visualização 3D, como módulo complementar em uma arquitetura de ensino;
- **Análise 2:** o uso da tecnologia Java para o ambiente de simulação ainda tem restrição devido a algumas características da linguagem, contudo esse trabalho apresenta dados que justificam seu uso através do *jchai3d*, pois a renderização gráfica é repassada a placa gráfica através da padronização JSR 231;
- **Análise 3:** o uso da tecnologia *Web Service* como meio de comunicação e disponibilização das funcionalidades de cada módulo foi essencial para modularização da aplicação;
- **Análise 4:** de acordo com os arquitetos e especialistas a arquitetura proposta apresenta um grau de complexidade em torno de 7.4, podendo ser considerada como elevada, porém de acordo com o especialista 1 esse tipo de sistema exige características distintas dos demais;
- **Análise 5:** pela avaliação dos arquitetos e especialistas os seguintes pontos tem característica de destaque na arquitetura, onde os mesmos são apresentados a seguir sua na ordem de grandeza de avaliação: "Arquitetura Orientada a Serviços", "Padronização da Linguagem de Desenvolvimento", "Visualização 3D", "Possibilidade de construção de uma *interface* adaptativa ao perfil do usuário".

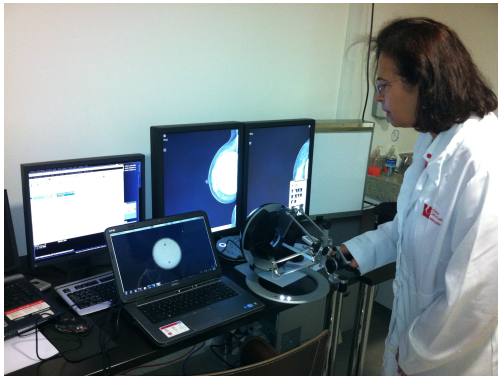
Os resultados obtidos na validação/simulação realizada no laboratório da **Clínica Janice Lamas Radiologia** disposto na Figura 4.24(a) foram satisfatórios e recomendados por todos os especialistas que testaram o software identificados nas Figuras 4.24(b), 4.24(c) e 4.24(d). Dessa forma, podemos concluir que a simulação proposta auxilia o aprendizado do procedimento *Core Biopsy*.



(a) Laboratório da Clínica.



(b) Especialista 1.



(c) Especialista 2.



(d) Especialista 3.

Figura 4.24: Resultados preliminares de teste do simulador.

Nesse sentido, o processo de validação realizado nesse trabalho conseguiu observar que a arquitetura proposta atende as necessidades para a concepção de um sistema de ensino de última geração, podendo ser adaptada para outros contextos que não só os ligados a área de saúde. Os módulos da arquitetura, foram propostos para processamento distribuído e desenvolvidos em uma única linguagem, garantido assim, uma alta capacidade de processamento e um único perfil de profissional. O uso de RV e Ontologia agregaram características particulares à arquitetura, pois foi possível a representação de conteúdo formalizado por perfil de usuário e de cenas gráficas para a visualização de determinadas características em ambiente 3D, além da possibilidade de ativação de *hardware* de contato a simulação 3D.

Entretanto, as estratégias pedagógicas e a integração de processamento dos módulo aluno e tutor, composto da RNA IAC, não foram objetivo de análise aprofundada, possibilitando a concepção de trabalhos futuros. Contudo para o sucesso efetivo da arquitetura esta implementação é vital.

4.6 Publicações

4.6.1 Periódicos

- MELO, J. S. S. ; BRASIL, L. M.; SILVA, A. P. B.; Integração da Interface Phantom ao Sistema Tutor Inteligente para o Ambiente de Simulação Médica. Revista Brasileira de Engenharia Biomédica (Impresso), v. 27, p. 98-109, 2011.;
- MELO, J. S. S. ; BRASIL, L. M.; NUNES, F. L. S.; LAMAS, J. M.; Oriented Architecture Services for Merge Technologies Applied to a Three-Dimensional Atlas Interactive Anatomy of the Breast. Biomedical Engineering Online (In Press), v. , p. -, 2012.;

4.6.2 Capítulo de Livros

- KLAVDIANOS, P ; MELO, J. S. S. ; BRASIL, L. M.; Robotic Vision: Technologies for Machine Learning and Vision Applications. (In Press) In: IGI Global. (Org.). Robotics and Computer Vision. United States: IGI Global, 2011, v. , p. -.;

4.6.3 Artigos Completos: Eventos Científicos

- MELO, J. S. S. ; BRASIL, L. M ; CERQUEIRA, J. P.; RAMOS, M.; JCHAI3D: Uma Framework Multiplataforma para Aplicações na Área de Saúde. In: Simpósio de Realidade Virtual e Aumentada (SVR2012), Niterói, Rio de Janeiro, 2012. v. 1. p.-.;
- CERQUEIRA, J. P.; RAMOS, M.; MELO, J. S. S. ; BRASIL, L. M ;. Jchai3D: Uma Plataforma Para Desenvolvimento de Aplicações de Realidade Virtual. In: World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering, 2012, Beijing. IFMBE Proceedings WC 2012 - World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering, 2012. v. 1. p. 2302-2305.;
- MELO, J. S. S. ; BRASIL, L. M. ; BALANIUK, REMIS ; FERNEDA, E. . Medical Simulation Platform. In: IEEE Symposium on Computers - Informatics, 2011, Kuala Lumpur. 2011 IEEE Symposium on Computers, Informatics, Bioinformatics and Computational Biology. IEEE : IEEE, 2011. v. 1. p. 453-456.;
- MELO, J. S. S. ; BRASIL, L. M. ; BALANIUK, REMIS ; FERNEDA, E. . Intelligent Tutoring Systems Based on Ontologies and 3D Visualization Platforms in The Teaching of The Human Anatomy. In: World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering, 2009, Munich. IFMBE Proceedings WC 2009 - World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering, 2009. v. 25/IV. p. 16-19.;

4.6.4 Resumo de Artigos: Eventos Científicos

- BRASIL, L. M ; MELO, J. S. S.; RAMOS, S. M. ; Cerqueira, P. S. J.. Framework Multi-plataforma de Processamento Háptico e Gráfico para Simulação Médica. In: CBEB2012 -

XXIII Congresso Brasileiro de Engenharia Biomédica, 2012. v. 1;

- CERQUEIRA, J. P.; RAMOS, M.; MELO, J. S. S. ; BRASIL, L. M. . Simulation of Surgical Procedures with Jchai3D. In: Pan American Health Care Exchanges Conference, PAHCE 2012, 2012, Florida. Pan American Health Care Exchanges Conference, PAHCE 2012 - Conference, Workshops, and Exhibits, Cooperation/Linkages: An Independent Forum for Patient Care and Technology Support, 2012. v. 1. p. 16-16.
- MELO, J. S. S. ; G. A. BORGES ; BRASIL, L. M. . Framework Multiplataforma de Interação Háptica. In: Pan American Health Care Exchanges (PAHCE), 2011, Rio de Janeiro. PAHCE -. brasil : PAHCE, 2011. v. 1. p. 328-329.;
- BRASIL, L. M ; RAMOS, S. M. ; CERQUEIRA, P. S. J. ; MELO, J. S. S.. JChai3D: Uma biblioteca open-source multiplataforma de Realidade Virtual. In: III Encontro de Ciência e Tecnologia da Faculdade UnB-Gama, 2011, Gama. III Encontro de Ciência e Tecnologia da Faculdade UnB-Gama. Brasília : UNB, 2011. v. 1.;
- BRASIL, L. M ; MELO, J. S. S. . Atlas anatômico 3D háptico em ambiente web médico aplicado à mama. In: Congresso FGA, 2010, Gama. Congresso FGA - ECT. BRASILIA : UNB, 2010. v. 1. ;
- FARIA, S.S. ; MELO, J. S. S ; BRASIL, L. M. . Simulação Cirúrgica Aplicada a um Ambiente Web Médico. In: 7 Congresso de IC do DF e XVI Congresso de IC da UnB, 2010, Brasília. 7 Congresso de IC do DF e XVI Congresso de IC da UnB. Brasília : UnB, 2010. p. 203. ;
- ABREU, CAROLINA ; BRASIL, L. M ; MELO, J. S. S. ; A.P.B. Silva . A Study of Virtual Reality in Mastology. In: World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering, 2009, Munich. IFMBE Proceedings WC 2009 - World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering, 2009. v. 25/IV. p. 1115-1118.

Capítulo 5

Conclusões

O presente trabalho foi desenvolvido pelo departamento de Engenharia Elétrica (ENE) da Universidade de Brasília (UnB) de 2009 a 2012 com colaboração Laboratório de Informática em Saúde (LIS) do *campus* avançado do Gama e da Universidade de São Paulo (USP) propondo uma arquitetura de *software* orientada a serviço para integração de tecnologias aplicada a um atlas tridimensional interativo da anatomia mamária.

Durante a pesquisa dessa tese, buscou-se observar as arquiteturas de *software* com características correlatas. Entretanto não foi observada nenhuma proposta que associa-se os três (3) pilares da tese: RV, STI e Ontologia, sendo possível considerar esse critério como ponto inovador do trabalho.

A arquitetura desse trabalho foi baseada em parte nos módulos convencionais de ensino que relacionam: conteúdo, perfil, tutoramento e *interface*. Contudo, esse trabalho acrescentou (i) o desacoplamento de cada módulo baseado na tecnologia de *Web Service*, (ii) a unificação da linguagem de desenvolvimento baseado no padrão Java, (iii) o processamento distribuído baseado no padrão *EJB*, (iv) a distribuição e configuração automática da aplicação baseado no protocolo *JNLP*, (v) a possibilidade de criação de *script's Jess* para avaliação dos estilos de aprendizagem, (vi) a modularização da *interface* básica de apresentação baseado no padrão *jApplet*, (vii) associação da ontologia ONTOMAMA com representações de cenas gráficas 3D, possibilitando que o contexto 3D possa ser representado na ontologia, (viii) representação da cena gráfica instanciada na ontologia em um ambiente de visualização, navegação e interação 3D baseado do padrão *JSR231* implementado pela *framework jChai3D*, (ix) a possibilidade de modelagem de cenas gráficas que representam procedimentos cirúrgicos, por exemplo, a *Core Biopsy* e (x) visualização do conteúdo especializado na ontologia no ambiente virtual, após a colisão da *interface* de contato com a malha 3D.

Durante o processo de validação alguns revisores não acreditavam na possibilidade de uso da linguagem Java em ambientes de simulações complexos. Como esse requisito arquitetural era de suma importância a validação da *framework jChai3D* a ser utilizada comparando-a com a *framework* base *Chai3D* escrita em C++. Como resultado, a *framework* escrita em Java obteve uma diferença de 6 *Frames Per Second* (FPS) para menos em relação a *framework* escrita em C++ com a ativação da malha do tronco feminino e da pistola de coleta representando virtualmente os

movimentos de *interface* háptica e processo de detecção de colisão.

Por ser uma arquitetura totalmente Java foi possível disponibilizar o protótipo que implementa parcialmente a arquitetura desse trabalho em servidores não convencionais, *MACPRO SERVER*. Este trabalho foi financiado por um projeto de pesquisa ao qual essa tese está vinculado, buscando inovar também nos meios de processamento dessa arquitetura, assim como testes em diferentes *interfaces* de contato, por exemplo, *Omni Phantom*, *Omega 7* e *Falcon*.

O protótipo conseguiu atingir 60% da implementação total da arquitetura, em detrimento da (i) não implementação do módulo tutor que abriga o processamento da RNA *IAC* que avalia as interações do usuário com o sistema, (ii) transposição do *shell* especialista que avalia os estilos de aprendizagem escrito no *Expert Sinta* para o *Shell Jess*, (iii) adaptação da *interface* aos novos perfis gerados pelo módulo tutor e (iv) concepção de algoritmos de deformação no ambiente *jChai3D*, tornando a simulação mais realística, sendo tais implementações configuradas como trabalhos futuros.

Por fim, a tese disponibiliza para a área da Engenharia Elétrica e Biomédica, uma arquitetura de processamento distribuído e modularizada para o ensino. Tais módulos, podem ser customizados para diferentes domínios do conhecimento devido ao uso de ontologias para o acesso a informação. A informação pode ser configurada em cenas gráficas para a visualização e interação em ambiente 3D, sendo inclusive possível a ativação de *interfaces* de contato para a simulação de princípios físicos do contexto modelado. A integração da tecnologia *shell* especialista e RNA, permitiu a capacidade de avaliação do perfil do estudante e adaptação da interface visual e do conteúdo de acordo com as características atualizadas durante a interação com o sistema.

Em relação à área médica esse trabalho disponibiliza ferramentas que podem auxiliar o treinamento de procedimentos cirúrgico, como observado nos resultados obtidos no processo de validação e calibragem do protótipo. Todos os especialistas ressaltam a potencialidade do trabalho, assim como a contribuição para o treinamento de procedimentos de punção de mama.

É notório que essa arquitetura tentou seguir a vanguarda de tecnologia na atualidade. Entretanto alguns pontos precisam ser validados e até mesmo substituído no momento em que a arquitetura estiver 100% implementada. Todavia, a mesma já foi validada não só por arquitetos e especialistas, mas também por diversos revisores dos artigos publicados.

Com o objetivo de aprofundar ou dar continuidade a alguns aspectos não abordados ou citados de forma superficial no presente trabalho de pesquisa propõe-se alguns temas para trabalhos futuros:

- **Deformação de Superfícies:** os algoritmos de deformação representam características importantes na agregação de maior realismo nos processos de simulações complexas, por exemplo: o procedimento *Core Biopsy* foco desse trabalho. Nesse sentido, a implementação de algoritmos físicos e geométricos no *jChai3D*, que representa a base 3D da arquitetura proposta é um ponto importante para a evolução da arquitetura. Hoje, a equipe mantenedora do *jChai3D* já iniciou tais implementações, agregando inclusive o algoritmo híbrido conhecido como *LEM*;

- **Processamento 3DS:** o *jChai3D* está capacitado para processar apenas arquivos OBJ, contudo os arquivos 3DS agregam maior quantidade de informações, disponibilizando características visuais de maior realismo na simulação;
- **Arquitetura do Conteúdo:** o conteúdo do sistema é processado em uma arquitetura de ontologia, composta pela ontologia ONTOMAMA e à associação com OntoRV. Entretanto a fim de padronizar o conteúdo a ONTOMAMA poderia ser herdada da OntoW3C associada com a OntoMedia que busca associar a definição de de tipos e modelos de visualização do conteúdo em mídias;
- **Manutenção do Conteúdo:** a manutenção do conteúdo é realizado pelo *software* protótipo que não dispõem de uma *interface* visual simplificada para tal manutenção, dessa o desenvolvimento de uma *interface* simplificada agregaria simplicidade à arquitetura;
- **Módulos Perfil:** a implementação do *shell* especialista que responsável por analisar os estilos de aprendizagem e futuramente as inteligências múltiplas foi preparado para ser processado no ambiente *Jess*, contudo a partir de 2008 a licença de uso da biblioteca passou a ser paga, sendo disponibilizada para simulações com validade de 60 dias. Nesse sentido, como toda arquitetura foi baseada em padrões de código aberto, poderia-se pesquisar um novo *shell* especialista para substituir o mesmo;
- **Processamento do Perfil:** o perfil inicialmente criado é gravado em banco de dados e no decorrer do processamento da RNA IAC novos perfis vão sendo gerados, contudo não existe uma análise de evolução desse perfil. A partir dessa análise poderia-se aprimorar o processo de ensino;
- **Adaptação da interface:** a tecnologia utilizada para representação da *interface* é baseada na tecnologia *jApplet* que incorpora componentes *swing* na plataforma *applet*. Poderia-se representar parte da *interface* através de arquivos de estilo *web* CSS, facilitando a adaptação da *interface*.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] CANCER, I. N. do. Incidência de câncer no brasil. Acesso em 6 Jun. 2012. Disponível em: <<http://www.inca.gov.br/estimativa/2012>>.
- [2] FRANCENE, F. *O Lidar com a Morte e a Educação Médica*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, Brasil, 2004.
- [3] MELO, J. S. S. *Integrando realidade virtual em sistemas tutores inteligentes no domínio da saúde*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Católica de Brasília, Brasília, DF, Brasil, 2007.
- [4] ALMEIDA, M. A. *Educação Médica e Saúde: Possibilidades de Mudança*. [S.l.]: Editora UEL - ABEM, 1999.
- [5] AMARAL, J. L. do. *Duzentos Anos de Ensino Médico no Brasil*. Tese (Doutorado) — UFRJ - Universidade do Estado do Rio De Janeiro, 2007.
- [6] DIARIODENATAL. Acesso em 6 Jun. 2012. Disponível em: <<http://www.diariodenatal.com.br/2011/02/23/cidades40.php>>.
- [7] SIMBIONIX. Acesso em 6 Jun. 2012. Disponível em: <<http://symbionix.com/>>.
- [8] HANSENMEDICAL. Acesso em 6 Jun. 2012. Disponível em: <<http://www.hansenmedical.com/>>.
- [9] LARISSA, P. *Estudo e implementação do método massa-mola para deformação em ambientes virtuais de treinamento médico usando a api java 3D*. Dissertação (Mestrado) — Centro Universitário Eurípides de Marília, Marília, SP, Brasil, 2006.
- [10] MORESI, E. A. D. *Manual de metodologia da pesquisa*. [S.l.]: Universidade Católica de Brasília, 2003.
- [11] IEEE. Acesso em 6 Jun. 2012. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/>>.
- [12] RAMSAY, D. T. et al. Anatomy of the lactating human breast redefined with ultrasound imaging. *Journal of Anatomy*, v. 34, n. 1, p. 206–525, june 2005.
- [13] CANCER, I. N. do. *Custo de tratamento do câncer aumentará oito vezes nos próximos dois anos e sairá sete vezes mais caro que ações de prevenção*. 2007. Acesso em 5 dez. 2011. Disponível em: <<http://www.inca.gov.br>>.

- [14] ONCOGUIA. Entendendo o câncer. Acesso em 6 Jun. 2012. Disponível em: <<http://www.oncoguia.com.br/>>.
- [15] SOHN, C.; HAMPER, U. M.; BLOHMER, J. U. *Ultra-Sonografia da Mama*. [S.l.]: Revinter, 1996.
- [16] JACOME, E. M. et al. Detecção do câncer de mama: Conhecimento, atitude e prática dos médicos e enfermeiros da estratégia saúde da família. *Revista Brasileira de Cancerologia*, v. 57, n. 2, p. 189–198, 2011.
- [17] ADAMI, D. H. H.; TRICHOPOULOS, D. *Textbook of Cancer Epidemiology*. [S.l.]: Oxford University Press, 2008.
- [18] DANIELLA, S. C. V. et al. Carcinoma de mama: novos conceitos na classificação. *Rev. Bras. Ginecol. Obstet.*, v. 30, n. 1, p. 100–111, jan 2008.
- [19] CANCER, I. N. de. Alimentos, nutrição, atividade física e prevenção do câncer. uma perspectiva global. *INCA*, p. 12, 2007.
- [20] PISANO, E. D. et al. Diagnostic performance of digital versus film mammography for breast-cancer screening. *New England Journal of Medicine*, v. 353, n. 17, p. 1773–1783, 2005. Disponível em: <<http://www.nejm.org/doi/full/10.1056/NEJMoa052911>>.
- [21] INFANTIL, C. de Diagnóstico por I. *Contribuição Dos Métodos De Imagem Para O Diagnóstico Do Câncer De Mama*. 2012. Acesso em 6 Jun. 2012. Disponível em: <<http://www.cetac.com.br>>.
- [22] RADIOLOGY, A. C. of. *Breast Imaging Reporting and Data System. BI-RADS*. [S.l.]: Reston, 1998.
- [23] PARKER, S. H.; BURBANK, F. A practical approach to minimally invasive breast biopsy. *Radiology*, n. 200, p. 11–20, 1996.
- [24] PARKER, S. H. et al. Us-guided automated large-core breast biopsy. *Radiology*, p. 187:507–11, 1993.
- [25] PARKER, S. H. Percutaneous large core breast biopsy. n. 74, p. 256–262, 1994.
- [26] LAMAS, J. M. Avaliação dos resultados de exames mamográficos para detecção precoce de câncer de mama em mulheres assintomáticas, no distrito federal. *Radiologia brasileira*, n. 33, p. 161–167, 2000.
- [27] GUARINO, N. Formal ontology in information systems. *International Conference*, v. 46, 1998.
- [28] GRUBER, T. R. A translation approach to portable ontology specification. *Knowledge. Acquisition*, v. 5, n. 2, p. 199–220, 1993.
- [29] FENSEL, M. Special issue on semantic web technology. *IEEE Intelligent Systems (IEEE IS)*, n. 16, 2001.

- [30] CORCHO, O.; FERNANDEZ, L.; GOMEZ-PEREZ, A. Methodologies, tools and languages for building ontologies. where is their meeting point. *Data-Knowledge Engineering*, v. 46, p. 41–64, 2003.
- [31] BEZIVIN, J.; LEMESLE, R. Ontology-based layered semantics for precise oad modeling. *Workshop On Precise Semantics For Object-Oriented Modeling Techniques*, v. 1, 1997.
- [32] NOVELLO, T. C. *Ontologias, Sistemas baseados em conhecimento e modelos de banco de dados*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil, 2002.
- [33] BECHHOFFER, S.; LORD, P.; VOLZ, R. Cooking the semantic web with the owl api. *Cooking the Semantic Web with the OWL API. 2nd International Semantic Web Conference, ISWC, Sanibel Island, Florida*, October 2003.
- [34] PATRICIA, M. G. *Publicação de Dados Governamentais Abertos Utilizando Tecnologias da Web Semântica*. Dissertação (Mestrado) — Universidade de Brasília, Brasília, DF, Brasil, 2011.
- [35] ARAUJO, M. *Educação a Distância e Web Semântica: modelagem ontológica de materiais e objetos de aprendizagem para a plataforma COL*. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil, 2003.
- [36] GUIMARAES, F. J. Z. *Utilização de ontologias no domínio B2C*. Dissertação (Mestrado) — Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2002.
- [37] MERISANDRA, C. de M.; PRISCYLA, W. T. de A. S.; RENAN, F. F. A metodologia methontology na construção de ontologias. *Revista de Iniciação Científica - UNESC*, v. 5, n. 1, 2007.
- [38] ALMEIDA, M. B.; BAX, M. P. Uma visão geral sobre ontologias: pesquisa sobre definições, tipos, aplicações, métodos de avaliação e de construção. *Revista Ciência da Informação - Brasília*, v. 32, n. 3, 2003.
- [39] LOPEZ, M. F. *A survey on methodologies for developin, maintaining, evaluating and reengineering ontologies*. Dissertação (Mestrado) — Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, ES, Espanha, 2000.
- [40] HU, B.; DASMAHAPATRA, S.; SHADBOLT e N. From lexicon to mammographic ontology: Experiences and lessons. *International Workshop on Description Logics*, p. 229–233, 2003.
- [41] VOSSEN, G.; WESTERKAMP, P. E-learning as a web service. *7th International Database Engineering and Applications Symposium*, p. 242–249, 2003.
- [42] MOREALE, E.; VARGAS-VERA, M. Semantic services in e-learning: an argumentation case study. *Electrical and Computer Engineering, Educational Technology e Society*, v. 7, p. 112–128, 2004.
- [43] PODSIADLY-MARCZYKOWSKA, T.; GOSZYNSKA, H.; GUZIC, A. Towards an owl mam-mogram ontology. *The 3rd European Medical and Biological Engineering Conference*, 2005.

- [44] ROSE, C. et al. Web services for the ddsms and digital mammography research. *Computer Science*, p. 376–385, 2006.
- [45] HEATH, M. et al. The digital database for screening mammography. *5th International Workshop on Digital Mammography*, n. 10, 2000.
- [46] BOAVENTURA, R. S. et al. Um sistema de consulta orientado por ontologia para auxiliar estudantes na interpretação de mamogramas e diagnóstico de câncer de mama via web. *Revista CEPPG Û CESUC*, v. 20, 2009.
- [47] GRUNNINGER, M.; FOX, S. The role of competency questions in enterprise modelling. *IFIP WG5 Workshop on Denchmarking - Theory and Prattice*, n. 17, 1994.
- [48] KLAVDIANOS, P. et al. Onto-mama: An ontology of the female breast anatomy applicable to a virtual learning environment. In: *Health Care Exchanges (PAHCE), 2011 Pan American*. [S.l.: s.n.], 2011. p. 315.
- [49] INFORMATICS, S. C. for B. ProtÉgÉ. Acesso em 6 Jun. 2012. Disponível em: <<http://protege.stanford.edu/>>.
- [50] GIRAFFA, L. M. M.; VICCARI, R. M. *Fundamentos dos Sistemas Tutores Inteligentes*. In: *BARONE, D. (org). Sociedades artificiais: a nova fronteira da inteligência das máquinas*. [S.l.]: Bookman, 2003. ISBN: 85-363-0124-4.
- [51] COSTA, E. B. *Um modelo de ambiente interativo de aprendizagem baseado numa arquitetura multi-agentes*. Tese (Doutorado) — Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, PB, Brasil, 1997.
- [52] 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.
- [53] D., S.; BROWN., J. S. Introduction: Intelligent tutoring systems. *Academic Press*, p. 1–10, 1982.
- [54] FRAGELLI, R. R. *Uma Abordagem de Redes Quantizadas e Objetos Multifformes para a Modelagem de Domínio em Sistemas Tutores Inteligentes*. Tese (Doutorado) — Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Mecânica, Brasília, DF, Brasil, 2010.
- [55] RISSOLI, V. R. V.; GIRAFFA, L. M. M. Aprendizagem significativa apoiada por um sistema tutor inteligente usando lógica fuzzy. *Workshop de Arquiteturas Pedagógicas para Suporte à Educação a Distância mediada pela Internet*, 2006.
- [56] MOREIRA, M. A. *teorias de Aprendizagem*. [S.l.]: EPU, 1999.
- [57] HILL, W. F. *Learning: a survey of psychological interpretations*. [S.l.]: Harper Collins, 1990.
- [58] SKINNER, B. F. *Sobre o Behaviorismo*. [S.l.]: Cutrix, 2006.

- [59] MARTLIN, M. W. *Psicologia Cognitiva*. [S.l.]: LTC, 2004.
- [60] AUSUBEL, D. P. *Aquisição e retenção de conhecimento: uma perspectiva cognitiva*. [S.l.]: Platano, 2003.
- [61] BLOOM, B. S. Taxonomy of educational objectives. *New York: David McKay*, v. 1, p. 262, 1956.
- [62] FELDER, R.; SILVERMAN, L. Learning and teaching styles in engineering education. *New York: David McKay*, v. 78, n. 7, p. 674–681, 1988.
- [63] LUGER, G. F. Artificial intelligence, structures and strategies for complex problem solving. *Addison Wesley Longman*, p. 430–456, 1998.
- [64] FEIGENBAUM, J. L. A. Hemachandra: on generating solved instances of computational problems. p. 297–310, 1988.
- [65] WINSTON, P. H. Artificial intelligence. *Addison-Wesley Publishing Company*, p. 430–456, 1992.
- [66] FOWLER, D. G. A. Model for designing intelligent tutoring systems. *Journal of Medical Systems*, v. 15, n. 1, 1991.
- [67] FREEMAN, R. What is an intelligent tutoring system? *Intelligence*, p. 15–16, 2000.
- [68] NWANA, H. S. Intelligent tutoring systems: an overview. *Artificial Intelligence Review*, p. 251–277, 1990.
- [69] 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.
- [70] BITTENCURT, G. A. Customizable tool for the generation of production-based systems. *International Conference on Applications of Artificial Intelligence In Engineering*, v. 8, 1993.
- [71] CARDOSO, J. P. et al. O uso de sistemas especialistas para apoio à sistematização em exames ortopédicos do quadril, joelho e tornozelo. *Rev Saúde.com*, v. 1, p. 24–34, 2005.
- [72] MITCHELL, T. *Machine learning*. [S.l.]: McGr McGraw-Hill Higher Education, 1997.
- [73] HAYKIN, S. *Redes Neurais - Princípios e Prática*. [S.l.]: Bookman, 2000.
- [74] CURILEM, G. M. J. S. *Metodologia para a Construção de Interfaces Adaptáveis em Sistemas Tutores Inteligentes*. Tese (Doutorado) — UFSC - Universidad Federal de Santa Catarina, 2002.
- [75] MCCLELLAND, J. L.; RUMELHART, D. E. *Explorations in Distributed Processing - A Handbook of Models, Programs and Exercises*. [S.l.]: Bradford Book, 1989.
- [76] BARBOSA, A. T. R.; AZEVEDO, F. M. de. Metodologia para desenvolvimento de um site com interface adaptativa usando redes neurais e a teoria das inteligências múltiplas. *XIV Simpósio Brasileiro de Informática na Educação - NCE - IM/UFRJ*, 2003.

- [77] PAIM, R. L. et al. Sistema hipermídia com interface adaptativa em câncer de mama usando redes neurais artificiais mlp e iac. *Sociedade Brasileira de Informática em Saúde*, 2011.
- [78] CAMPBELL, L.; DICKINSON, B. *Ensino e Aprendizagem por Meio das Inteligências Múltiplas*. [S.l.]: Artmed,, 2000.
- [79] BOAVENTURA, R. S. *INDIAM Um Sistema de Ensino para Auxiliar Estudantes na Interpretação de Mamogramas e Diagnóstico de Câncer de Mama Via Web*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, Brasil, 2008.
- [80] CARTWRIGHT, G. F. *Virtual or Real? The mind in cyberspace*. [S.l.]: The Futurist, 1994.
- [81] MONTEIRO, E. F. S.; ZANCHET, D. J. Realidade virtual e a medicina. *Scientific Electronic Library Online*, v. 18, n. 5, p. 489–490, jan 2003.
- [82] MACHADO, L. S.; NETTO, A. V.; OLIVEIRA, M. C. F. Realidade virtual Ũ definições, dispositivos e aplicações. *Notas Didáticas*, n. 34, 2002. São Carlos, SP, Brasil,.
- [83] SILVA, R. J. M. *Integração de um Dispositivo Óptico de Rastreamento a uma Ferramenta de Realidade Virtual*. Dissertação (Mestrado) — Pontifícia Universidade Católica, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2004.
- [84] RIVA, G. Applications of virtual environments in medicine. methods of information in medicine. *Istituto Auxologico Italiano*, v. 42, n. 05, p. 524–534, 2003. Milan, Itália.
- [85] MACHADO, L. S. et al. Sistema interativo de treinamento em exame ginecológico. In: *VI Symposium on Virtual Reality*. Ribeirão Preto, São Paulo, Brasil: [s.n.], 2003. CD-ROM.
- [86] BATTEAU, L. M. et al. A study on the perception of haptics in surgical simulation. *Lecture Notes in Computer Science, Medical Simulation*, v. 3078, p. 185–192, jun 2004. Springer Berlin, Heidelberg, Alemanha.
- [87] SENSABLE. Acesso em 6 Jun. 2012. Disponível em: <<http://www.sensible.com/>>.
- [88] SENSORRAY. Acesso em 6 Jun. 2012. Disponível em: <<http://www.sensoray.com/>>.
- [89] MPB-TECHNOLOGIES. Acesso em 6 Jun. 2012. Disponível em: <<http://www.mpb-technologies.ca/>>.
- [90] DIMENSION, F. Acesso em 6 Jun. 2012. Disponível em: <<http://www.forcedimension.com/>>.
- [91] CONTI, F. *The CHAI libraries*. [S.l.], 2006.
- [92] ALMEIDA, A. B. Usando o computador para processamento de imagens médicas. *Revista Informática Médica*, v. 1, n. 2, 1998.
- [93] WATERWORTH, J. A. Virtual reality in medicine: A survey of the state of the art. 2003.

- [94] NEDEL, L. P. *Simulação de Objetos Deformáveis Baseados na Análise Dinâmica*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil, jun 1993.
- [95] MAHONEY, D. P. Getting the feel of virtual. *Computer Graphics World*, v. 1, n. 2, 1999.
- [96] USP. Simulador de urologia. Acesso em 6 Jun. 2012. Disponível em: <<http://www.urousp.hcnet.usp.br/cepec/simuladores.aspx>>.
- [97] MONSERRAT, C. et al. Simulador para el entrenamiento en cirugías avanzadas. *Actas XII congreso internacional de ingeniería gráfica (ISBN: 84-8448-008-9)*, 2008.
- [98] TOMIKAWA, M. et al. Real-time 3-dimensional virtual reality navigation system with open mri for breast-conserving surgery. *J Am Coll Surg*, v. 210, n. 6, p. 927–933, jun 2010.
- [99] 3DSLICER. Acesso em 6 Jun. 2012. Disponível em: <<http://www.slicer.org/>>.
- [100] BRASIL, L. M. *Informática em Saúde*. [S.l.]: EDUEL, 2008.
- [101] SOFA. Simulation open framework architecture. Disponível em: <<http://www.sofa-framework.org/>>.
- [102] CHAI3D. Acesso em 6 Jun. 2012. Disponível em: <<http://www.chai3d.org/>>.
- [103] OLIVEIRA, A. C. M. T. G. *Vimet: Projeto e Implementação de um Framework para Aplicações de Treinamento Médico Usando Realidade Virtual*. Dissertação (Mestrado) — Centro Universitário Eurípides de Marília, Marília, SP, Brasil, 2007.
- [104] JAVA3D. Java 3d api tutorial. Acesso em 6 Jun. 2012. Disponível em: <<http://java.sun.com/developer/onlineTraining/java3d/>>.
- [105] TSAI, M.-D. et al. Virtual reality facial contouring surgery simulator based on ct transversal slices. In: *Bioinformatics and Biomedical Engineering, (iCBBE) 2011 5th International Conference on*. [S.l.: s.n.], 2011. p. 1–4. ISSN 2151-7614.
- [106] PANDIT, V. E-learning system based on semantic web. In: *Emerging Trends in Engineering and Technology (ICETET), 2010 3rd International Conference on*. [S.l.: s.n.], 2010. p. 559–564. ISSN 2157-0477.
- [107] BRIDSON, R.; MARINO, S.; FEDKIW, R. Simulation of clothing with folds and wrinkles. *Eurographics/SIGGRAPH Symposium on Computer Animation*, 2003.
- [108] R., M.; M. da S. H.; R.S.U., R. Análise da detecção de colisões com coerência semântica em ambientes robóticos simulados. In: *Industry Applications (INDUSCON), 2010 9th IEEE/IAS International Conference on*. [S.l.: s.n.], 2010. p. 1–6.
- [109] AIREY, J. M.; JOHN, H. R.; FREDERICK, P. B. J. Towards image realism with interactive update rates in complex virtual building environments. *Computer Graphics (1990 Symposium on Interactive 3D Graphics)*, v. 24, n. 2, p. 41–50, 1990.

- [110] TADDEO, L. da S. *Detecção de Colisão utilizando Grids e Octrees Esféricas para Ambientes Gráficos Interativos*. Dissertação (Mestrado) — Universidade De Fortaleza, Fortaleza, CE, Brasil, 2005.
- [111] LIN, M.; GOTTSCHALK, S. Collision detection between geometric models: A survey. *XI Congresso Brasileiro de Informática em Saúde*, v. 1, p. 602–608, 1998.
- [112] O’SULLIVAN, C.; DINGLIANA, J. Real-time collision detection and response using sphere-trees. *15th Spring Conference on Computer Graphics*, p. 83–92, 1999.
- [113] AANGEL, E. *Interactive Computer Graphics: A Top-Down Approach Using OpenGL*. [S.l.]: Addison Wesley, 2003.
- [114] FIGEREDO, M.; MARCELINO, L.; FERNANDO, T. A survey on collision detection techniques for virtual environments. *V Simpósio de Realidade Virtual*, p. 285–307, 2002.
- [115] KOCH, R. et al. Simulation facial surgery using finite element modles. In: . [S.l.]: ACM Computer Graphycs, 1996. v. 256-258.
- [116] MOSEGAARD, J. Lr-spring-mass model for cardiac surgical simulation. medicine meets virtual reality. In: . [S.l.]: First Edition, Rand Corporation, 2003. v. 256-258.
- [117] JUNIOR, J. M. P.; ORTIZ, J. S. E.; GIRALDI, G. A. Modelos massa-mola para visualização de tecidos flexíveis. In: . [S.l.]: Revista eletrônica de iniciação científica, 2006. v. 6, p. 30–45.
- [118] BARR, A. H. Global and local deformation of solid primitives. *ACM Computer Graphics*, v. 18, n. 3, p. 21–30, jul 1984.
- [119] SERDEBERG, T. W.; PARRY, S. R. Free-form deformation of solid geometric models. *ACM Computer Graphics*, v. 20, n. 4, p. 151–160, ago 1986.
- [120] BERNSTEIN, S. N. *The Theory of Probabilities*. [S.l.]: 4th ed. (in Russian), 1946.
- [121] WEIL, J. The synthesis os cloth objects. *ACM Computer Graphics*, v. 20, n. 4, p. 49–54, ago 1986.
- [122] PLATT, J. et al. The synthesis os cloth objects. *SIGGRAPH: Developments in Physically-Based Modelling*, p. 1–25, ago 1988.
- [123] TERZOPOULOS, D.; FLEISCHER, K. Deformable models. *The Visual Computer*, v. 4, p. 306–331, 1988.
- [124] PLATT, J.; BARR, A. Constraint methods for flexible models. *ACM Computer Graphics*, v. 22, n. 4, p. 279–288, Aug 1988.
- [125] METAXAS, D.; TERZOPULOS, D. Dynamic deformation os solid primitives with constraints. *ACM Computer Graphics*, v. 26, n. 2, p. 309–312, Jul 1992.
- [126] DIAS, J. M. S.; REBORDÃO, J. M. Um modelo energético para a simulação de superfícies deformáveis. *Encontro Portugues de Computação Gráfica*, p. 109–124, Nov 1991.

- [127] CARIGNAN, M. et al. Dressing animated synthetic actors with complex deformable clothes. *ACM Computer Graphics*, v. 26, n. 2, p. 99–104, Jul 1992.
- [128] DUNCAN, W. Liv. note on galerkin’s method for the treatment of problems concerning elastic bodies. *Philosophical Magazine Series 7*, v. 25, n. 169, p. 628–633, 1938. Disponível em: <<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/14786443808562046>>.
- [129] COSTA, I.; BALANIUK, R. Lem an approach for real time physically based soft tissue simulation. *IEEE International Conference on Robotics and Automation*, 2001.
- [130] GROUP, S. W. Soa working group of the open group. definition of soa. Acesso em 6 Jun. 2012. Disponível em: <<https://sso.opengroup.org/>>.
- [131] LUBLINSKY, B. Defining soa as an architectural style. Acesso em 6 Jun. 2012. Disponível em: <<http://www.ibm.com/developerworks/library/ar-soastyle/>>.
- [132] KRAFZIG, D.; BANKE, K.; SLAMA, D. *Enterprise SOA: Service-Oriented Architecture Best Practices*. [S.l.]: Prentice Hall, 2004.
- [133] ROGERS, R. Reuse engineering for soa. Acesso em 9 Jun. 2012. Disponível em: <<http://www.ibm.com/developerworks/webservices/library/ws-reuse-soal>>.
- [134] SILVA, J. M. da. *Uma Arquitetura Distribuída Baseada em Web Services para Gerência e Consulta de Informações sobre Transporte Coletivo Municipal*. Dissertação (Mestrado) — UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA, 2009.
- [135] JOSUTTIS, N. M. *SOA in Practice: The Art of Distributed System Design (Theory in Practice)*. [S.l.]: OReilly, 2007.
- [136] BOOTH, D. *Web Services Architecture*. [S.l.]: W3C, 2004.
- [137] MICHI, H. *The Rise and Fall of CORBA*. [S.l.], 2006.
- [138] W3C. Hypertext transfer protocol (http). Acesso em 6 Jun. 2012. Disponível em: <<http://www.w3.org/Protocols>>.
- [139] W3C. Extensible markup language (xml). Acesso em 6 Jun. 2012. Disponível em: <<http://www.w3.org/XML>>.
- [140] W3C. Soap version 1.2 part 1: messaging framework (second edition). Acesso em 6 Jun. 2012. Disponível em: <<http://www.w3.org/TR/soap12-part1>>.
- [141] KALIN, M. *Java Web Services: Up and Running. A quick, practical, and thorough introduction*. [S.l.]: OReilly, 2009.
- [142] OASIS. Universal description, discovery and integration. Acesso em 6 Jun. 2012. Disponível em: <<http://uddi.xml.org>>.
- [143] W3C. Services description language (wsdl). Acesso em 6 Jun. 2012. Disponível em: <<http://www.w3.org/TR/wsdl>>.

- [144] BORGES, A. *EJB - Enterprise JavaBeans*. [S.l.]: UFSC-PET, 2005.
- [145] VOHRA, D. *EJB 3.0 Database Persistence with Oracle Fusion Middleware 11g*. [S.l.]: Packt Publishing, 2010.
- [146] ORACLE. Java blueprints patterns catalog. Acesso em 6 Jun. 2012. Disponível em: <<http://www.oracle.com/technetwork/java/catalog-137601.html>>.
- [147] DIVE. Distributed interactive virtual environment. Disponível em: <<http://www.sics.se/dive/>>.
- [148] NOGUEIRA K. NOGUEIRA, E. L. J. K.; CARDOSO, A. Uma arquitetura para a distribuição de realidade virtual e aumentada. *6ª WorkShop Realidade Virtual e Aumentada*, 2009.
- [149] RIBEIRO, M. W. de S. *Arquitetura para Distribuição de Ambientes Virtuais Multidisciplinares*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal de Uberlândia - UFU, 2005.
- [150] SILVA, W. A. *Uma Arquitetura para Distribuição e Colaboração em Ambientes Virtuais de Realidade Aumentada*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal de Uberlândia - UFU, 2008.
- [151] COULOURIS, G.; DOLLIMORE, J.; KINDBERG, T. Distributed systems: Concepts and design. *Pearson Education*, v. 3, 2001.
- [152] FEIJOO, R. A. *Implantar em um ambiente educacional baseado na web, um sistema que permita o aprendizado prático morfológico das estruturas da mama. Utilizando-se técnicas de IA e RV, busca-se novas abordagens, de imediato, para o ensino de estudantes dos cursos das Ciências da Saúde Humanas e Biológicas, bem como para professores e profissionais da saúde interessados em educação continuada do ensino anatômico da mama e o treinamento cirúrgico, por exemplo, punção mamária*. [S.l.], 2009.
- [153] SINTA, E. Expert sinta. Acesso em 6 Jun. 2012. Disponível em: <<http://www.ufmg.br/>>.
- [154] ROGERS, T. T.; MCCLELLAND, J. L. *Parallel Distributed Processing: Explorations in the Microstructure of Cognition*. [S.l.]: MIT Press, 2004.
- [155] CURILEM, S. G.; BARBOSA, A. R.; AZEVEDO, F. M. de. Intelligent tutoring systems: Formalization as automata and interface design using neural networks. *Computers and Education*, v. 49, p. 545-561, 2007.
- [156] OWLAPI. Owlapi. Acesso em 6 Jun. 2012. Disponível em: <<http://owlapi.sourceforge.net/>>.
- [157] API, J. B. for the O. Jsr231. Acesso em 6 Jun. 2012. Disponível em: <<http://jcp.org/en/jsr/detail?id=231>>.
- [158] JOGL. Jogl. Acesso em 6 Jun. 2012. Disponível em: <<http://kenai.com/projects/jogl/pages/Home>>.

- [159] JESS. Jess: the expert system shell for the java platform. Acesso em 6 Jun. 2012. Disponível em: <<http://www.lia.ufc.br/>>.
- [160] REICHENHEIM, M. E.; MORAES, C. L. Buscando a qualidade das informações em pesquisas epidemiológicas. *Caminhos do Pensamento: Epistemologia e Método*, p. 227-254, 2002.
- [161] VALTER, J. K. *Desenvolvimento de uma Ontologia para Gerenciamento de Projetos*. Dissertação (Mestrado) — Universidade de Brasília, Brasília, DF, Brasil, 2009.
- [162] KLAVDIANOS, P.; BRASIL, L.; LAMAS, J. A process for integrating ris, pacs and full-field digital mammography. In: *Health Care Exchanges (PAHCE), 2011 Pan American*. [S.l.: s.n.], 2011. p. 314.

COMPLEMENTOS

I. APÊNDICE

I.1 E-Mail enviado aos Arquitetos de TI para Validação da Arquitetura

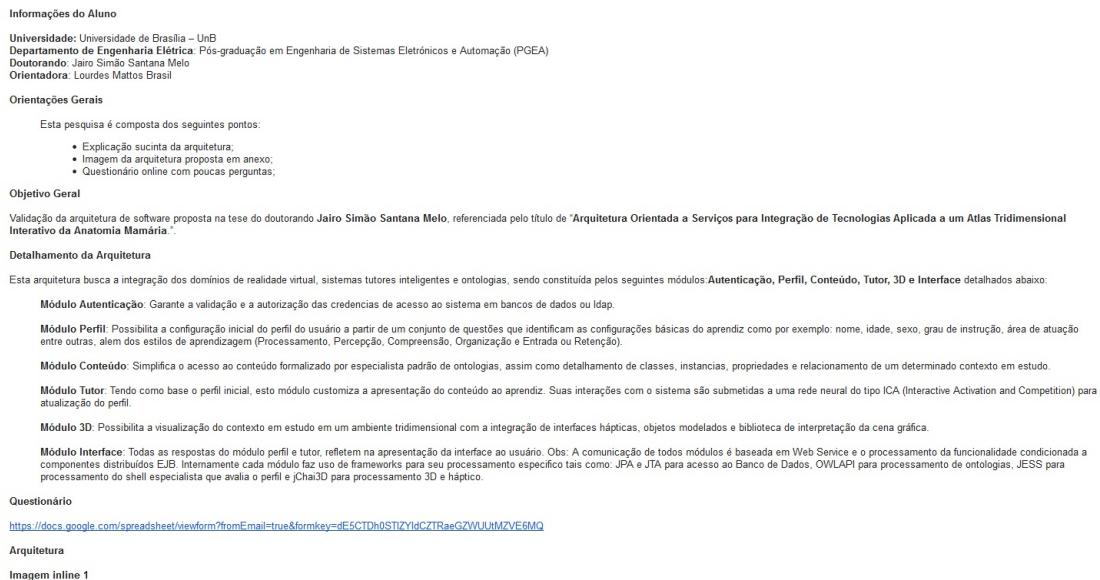


Figura I.1: Email de validação.

Validação Tese - Jairo Simão Santana Melo

* Required

Nome *

Empresa em que Trabalha

Tempo de Experiência Profissional *

1 ano
 2 a 5
 6 a 10
 + 10

Formação Acadêmica *

Tecnólogo em processamento de dados
 Bacharel em Ciências da Computação
 Sistema de Informação
 Engenharia de Software
 Engenharia Elétrica
 Engenharia Mecânica
 Engenharia Mecatrônica
 Other:

Titulação

Pós-Graduação
 Mestrado
 Doutorado
 Pós-Doutorado
 Graduação

1ª Qual o grau de complexidade observado na arquitetura ? *

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Não Complexo Extremamente Complexo

2ª Qual o grau de concordância em relação as tecnologias e padrões adotados na arquitetura ? *

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Não Concordo Concordo Plenamente

3ª Se você tivesse que desenvolver um sistema de ensino que utilize visualização 3D e interface adaptativa, qual o grau de recomendação dessa arquitetura ? *

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Não Recomendo Recomendo Plenamente

4ª Qual a sua avaliação perante à arquitetura proposta ? *

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Ruim Excelente

5ª Que nota você atribui a grau de acoplamento dos módulos da arquitetura ? *

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Nenhum Acoplamento Alto Acoplamento

6ª Quais são os pontos fortes dessa arquitetura aplicados a concepção de sistema de ensino ? *

Padronização da Linguagem de Desenvolvimento
 Arquitetura Orientada a Serviços
 Processamento Baseado em Objetos Distribuídos
 Modularização da Arquitetura
 Uso de padrões de Projeto
 Linguagem Multiplataforma
 Visualização 3D
 Análise do Perfil do Usuário
 Integração de Interfaces Hápticas

(a) Informações Básicas

(b) Questionário

Figura I.2: Questionário de validação disposto na ferramenta Google Form.

I.2 Uso da Ferramenta Protégé

Uma das ferramentas utilizadas na construção da ontologia desse projeto foi o Protégé [49] que será apresentado nos passos seguintes para modelagem do domínio de gestão de projetos [161]. O projeto Protégé teve início em 1987 na Universidade de Stanford por Mark Musen e encontra-se em constante evolução. A ferramenta original tinha como objetivo a construção de uma ferramenta para aquisição de conhecimento médico. A versão original evoluiu para uma plataforma de desenvolvimento e investigação de sistemas baseados em conhecimento, sendo disponibilizada gratuitamente no site do projeto.

O Protégé é baseado em Java, é expansível e fornece um ambiente do *plug-and-play* o que faz dele uma base flexível para uma rápida prototipagem e desenvolvimento de aplicações. A versão atual (4.2.25) é disponibilizada para diferentes plataformas tais como: (Windows 32 e 64 bits, Linux e Mac), suporte a extensões/interfaces adaptáveis pelos utilizadores, incorpora o modelo de conhecimento *Open Knowledge Base Connectivity* (OKBC). A plataforma Protégé suporta duas (2) formas de modelagem: *Protégé-Frames* e *Protégé-OWL*. Podem ser exportados para uma variedade de formatos, incluindo RDF, OWL e XML *Schema*.

- Passo 1: Entendimento do Domínio a ser modelado: Nesse exemplo é apresentado o domínio de gestão de projetos baseados nos conceitos disponibilizados pelo PMI. O Guia PMBoK (2004) sistematiza os conhecimentos e formaliza diversos conceitos em gerenciamento de projetos, consolidando 5 grupos de processos de gerenciamento de projetos e 9 áreas de conhecimento, conforme disposto na Figura I.3;

Algumas perguntas podem ser aplicadas para a construção dessa etapa:

- Qual é o domínio que a ontologia cobrirá?;
 - Qual será o uso da ontologia?;
 - Quem vai utilizar e manter a ontologia?;
- Passo 2: Definição do nome da Ontologia, a ser atribuído na *Uniform Resource Identifier* (URI), conforme representado na Figura I.4(a). O URI é um conjunto de caracteres para a identificação de um recurso físico ou abstrato. Uma outra informação importante a ser definida é o Unicode que identifica o sistema de identificação de caracteres. O Protégé defini a configuração padrão `<?xml version="1.0"?>`, isto é ASCII. O *namespace* e a linguagem XML ficam, logicamente sobre a camada URI, que define uma coleção de nomes identificados por uma referencia a fim de representar nomes de elementos e nomes de atributos como por exemplo a representação OWL disposto na Figura ??, onde são inseridos as seguintes referencias:

- `xmlns:xml="http://www.w3.org/XML/1998/namespace";`
- `xmlns:rdf="http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#";`
- `xmlns:xsd="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#";`

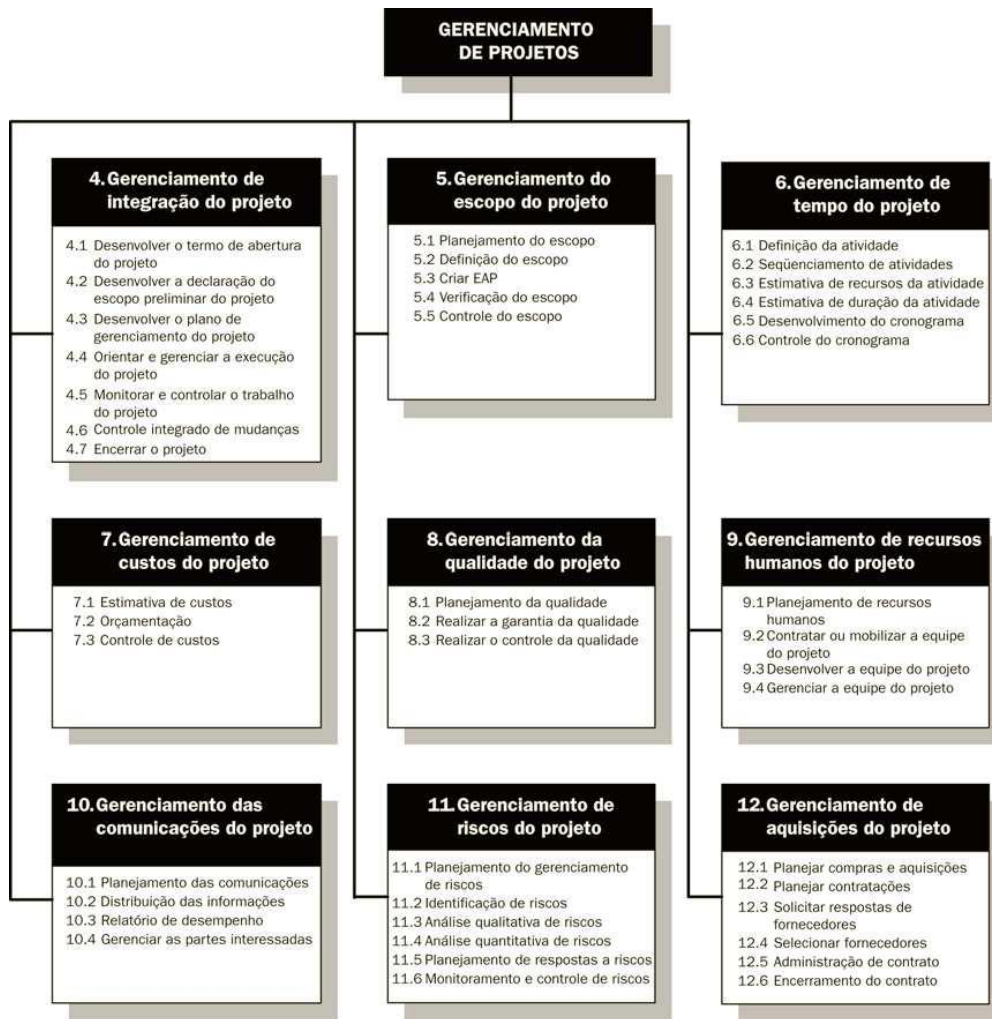


Figura I.3: Exemplo do Domínio a ser formalizado [161].

– xmlns:rdfs="http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#";

A estrutura XML em uso pela ontologia permite que usuários adicionem uma estrutura arbitrária, contendo várias *tags* em seu documento, sem dizer nada sobre o que estas estruturas significam, isto é, não traz informação semântica, apenas sintática. Contudo, o XML *Schema* fornece meios para definir semântica a documentos, especificando estruturas e mecanismos para validar o conteúdo.

A *Resource Description Framework* (RDF) é uma linguagem que expressa o significado, codificando a tripla (Sujeito, Verbo e Objeto) em uma sentença elementar, além da possibilitar a atribuição de propriedades e valores aos recursos. Na camada "ontology" são agregados os conceitos, termos, relações, axiomas, a fim de melhorar a representação semântica e iniciando a representação de conhecimento.

Na camada de regras "Rules" é feita uma conversão do documento atual em um conjunto de regras de inferência, facilitando o processamento da camada lógica, como exemplificando na Figura I.4(b).

Ontology ID

Please specify the ontology IRI.

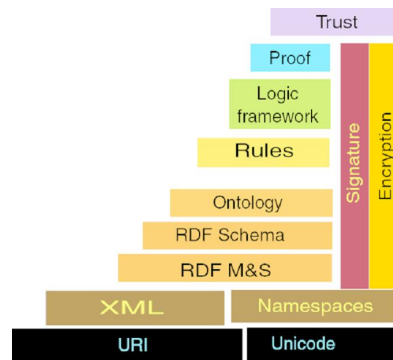
The ontology IRI is used to identify the ontology in the context of the world wide web. The ontology IRI to be the URL where the latest version of the ontology will be published. It is recommended that you set the version IRI to be the URL where this version of the ontology will be published.

Ontology IRI

Version IRI

Enable Version Iri

(a) Definição da URI



(b) Arquitetura de representação URI/XML/RDF/Ontologia.

Figura I.4: Definição da URI e Arquitetura XML.

- Passo 3: Enumeração de termos de destaque do domínio "Gestão de Projetos". Neste domínio os processos recebem entradas, fazem uso de ferramentas e técnicas específicas para produzirem saídas, que na maioria das vezes, são utilizadas com entradas de outros processos [161]. A seguir é apresentado uma das maneiras de enumeração de algumas classes do domínio;
 - **GerIntegProj**: O gerenciamento de integração do projeto inclui os processos e as atividades necessárias para identificar, definir, combinar, unificar e coordenar os diversos processos e atividades de gerenciamento de projetos. Possui características de unificação, consolidação, articulação e ações integradoras que são essenciais para o término do projeto, para atender com sucesso às necessidades do cliente e das partes interessadas e para gerenciar as expectativas;
 - **GerEscopoProj**: O gerenciamento do escopo do projeto inclui os processos necessários para garantir que o projeto inclua todo o trabalho necessário, e somente ele, para terminar o projeto com sucesso. Trata principalmente da definição e controle do que está e do que não está incluído no projeto;
 - **GerTempoProj**: O gerenciamento de tempo do projeto inclui os processos necessários para realizar o término do projeto no prazo;
 - **GerCustoProj**: O gerenciamento de custos do projeto inclui os processos envolvidos em planejamento, estimativa, orçamentação e controle de custos, de modo que seja possível terminar o projeto dentro do orçamento aprovado;
 - **GerQualProj**: O gerenciamento da qualidade do projeto inclui os processos e as atividades da organização executora que determinam as responsabilidades, os objetivos e as políticas de qualidade, de modo que o projeto atenda às necessidades que motivaram sua realização;
 - **GerRiscoProj**: O gerenciamento de riscos do projeto inclui os processos que tratam da realização de identificação, análise, respostas, monitoramento e controle, e planejamento do gerenciamento de riscos em um projeto. Os objetivos do gerenciamento de riscos do

projeto são aumentar a probabilidade e o impacto dos eventos positivos e diminuir a probabilidade e o impacto dos eventos adversos nos objetivos do projeto;

- **GerRHProj**: O gerenciamento de recursos humanos do projeto inclui os processos que organizam e gerenciam a equipe do projeto;
 - **GerComProj**: O gerenciamento das comunicações do projeto inclui os processos necessários para garantir a geração, coleta, distribuição, armazenamento, recuperação e destinação final das informações sobre o projeto de forma oportuna e adequada. Fornece as ligações críticas entre pessoas e informações que são necessárias para uma comunicação bem sucedida;
 - **GerAquisProj**: O gerenciamento de aquisições do projeto inclui os processos para comprar ou adquirir produtos, serviços ou resultados necessários de fora da equipe do projeto para realizar o trabalho;
- Passo 4: Modelagem das Classes do domínio identificadas no passo anterior, área de conhecimento em gerenciamento de projetos, identificada pelo vocabulário "AreaDeConhecimento" tem como subclasses (GerIntegProj, GerEscopoProj, GerTempoProj, GerCustoProj, GerQualProj, GerRHProj, GerComProj, GerRiscoProj e GerAquisProj) e os processos de gerenciamento de projetos identificado pelo vocábulo "ProcessoGerencimentoProjeto" tem como subclasses (ProcEncerramento, ProcMonitoramentoControle, ProcExecucao, ProcPlanejamento e ProcIniciacao) foram representados e modelados na ferramenta Protégé conforme exemplificado na Figura I.5. Os 42 processos do PMBok será alocadas como subclasses de cada subprocesso de gerenciamento de projeto. As técnicas e ferramentas também foram modeladas no vocábulo "FerramentaTecnica". Algumas das propriedades de classe como por exemplo disjunções, foram empregadas para separar o domínio de cada área de gerenciamento do projeto, conforme exemplificado na Figura I.5;

Como observado na arquitetura XML anteriormente descrita, a OWL é baseada em XML, RDF, *RDF-Schema*, sendo considerado que a OWL é uma extensão do vocabulário da RDF. A OWL pode compor três (3) sublinguagens: *OWL Lite*, *OWL DL* e *OWL Full*. A *OWL Full* é a mais expressiva, pois armazena a semântica sem restrição, enquanto que a *OWL DL* da suporte a lógica descritiva e computável. A *OWL Lite* é mais simples não permitindo operações de conjuntos como união, complementos, disjunções, etc. A seguir são apresentados as *tags* presentes em arquivos OWL.

- igualdades: `equivalentClass`, `equivalentproperty`, `sameAs`;
- desigualdades: `diferrentFrom`, `distintmembers`, `AllDifferent`;
- propriedades: `ObjetctProperty`, `Datatypeproperty`, `inverseOf`, `Transitiveproperty`, `SymmetricProperty`, `FunctionalProperty`;
- cardinalidade: `minCardinality`, `masCardinality`, `cardinality`;
- intersecção: `interserctionOf`;
- axiomas: `oneOf`, `disjointWith`, `equivalentClass`;
- booleanas: `unioOf`, `complementOf`, `intersectionOf`;

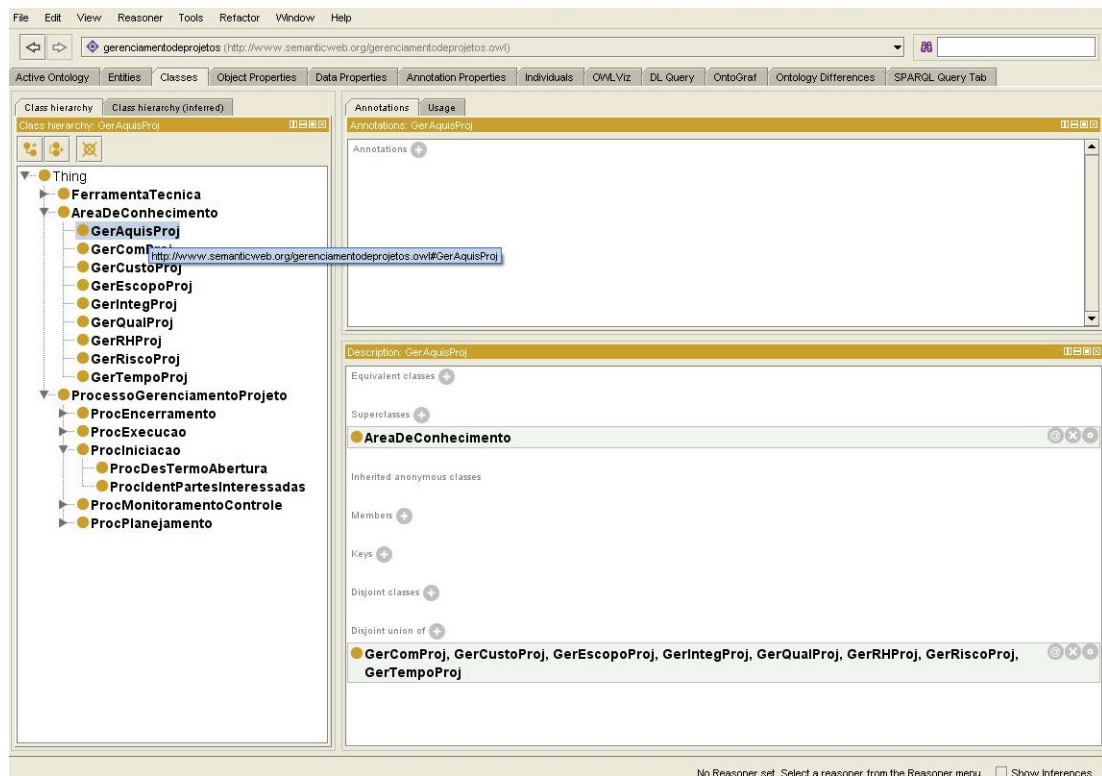


Figura I.5: Modelagem de Classes no Protégé e a uso de disjunções de classe.

- Passo 5: Representação das Propriedades do Objeto (recebeEntradaDe, ehEntradaPara, geraSaida, ehSaidaDe, geraAtualizacao, ehAtualizadaPelo, ehProcessoDe, temProcessoDe, utilizaFerrTec e ehUtilizadaPelo), semelhante a métodos na orientação a objeto descritos na Figura I.6. Similar a descrição do escopo das classes as propriedades também precisam ser detalhadas, tais como os a representação a seguir::
 - **recebeEntradaDe**: esta propriedade relaciona os processos de gerenciamento de projetos aos seus insumos de entrada recebidos;
 - **ehEntradaPara**: esta propriedade relaciona os insumos de entrada aos processos de destino;
 - **geraSaida**: esta propriedade relaciona os processos de gerenciamento de projetos aos insumos de saída produzidos;
 - **ehSaidaDe**: esta propriedade relaciona os insumos de saída aos processos de origem;
 - **geraAtualizacao**: esta propriedade relaciona os processos de gerenciamento de projetos às atualizações efetuadas;
 - **ehAtualizadaPelo**: esta propriedade relaciona as atualizações aos processos que as originaram;
 - **ehProcessoDe**: esta propriedade relaciona os processos de gerenciamento de projetos às respectivas áreas de conhecimento;
 - **temProcessoDe**: esta propriedade relaciona as áreas de conhecimento aos processos de gerenciamento de projetos que as compõem;

- **utilizaFerrTec**: esta propriedade relaciona os processos de gerenciamento de projetos às respectivas ferramentas e técnicas utilizadas;
- **ehUtilizadaPelo**: esta propriedade relaciona as ferramentas e técnicas aos processos de gerenciamento de projetos que as utilizam;

As propriedades representam relacionamentos entre dois indivíduos ou entre um indivíduo e um valor. Na ontologia existem dois tipos de propriedades criadas: propriedades de objeto (*Object Properties*) e propriedades de tipos de dados (*Data Type Properties*). As propriedades conectam indivíduos de um domínio (*domain*) a indivíduos de um escopo (*range*). Este relacionamento é exemplificado a seguir:

- **ehProcessoDe**: Possui domínio (ProcGerenciamentoProjeto) e escopo (AreaConhecimentoProjeto);
- **temProcessoDe**: Possui domínio (AreaConhecimentoProjeto) e escopo (ProcGerenciamentoProjeto);
- **ehUtilizadoPelo**: Possui domínio (FerramentaTecnica) e escopo (ProcGerenciamentoProjeto);
- **utilizaFerrTec**: Possui domínio (ProcGerenciamentoProjeto) e escopo (FerramentaTecnica);

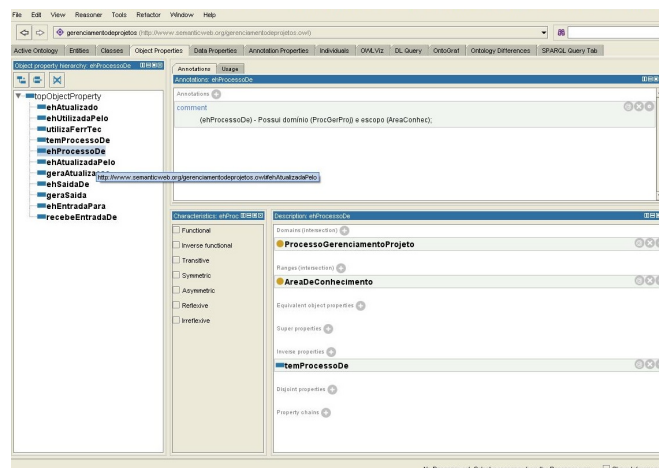


Figura I.6: Modelagem das Propriedades do Objeto, assim como o domínio e escopo.

- Passo 6: Definição das "Data Properties" (ValorIndic, DescricaoDet, HorasRealiz e HorasPlanej), semelhante a atributos de classe, conforme dispostos na Figura I.7, associando a propriedades de tipo de dado que pertence a indivíduo com um respectivo valor. Semelhante como foi definido para classes e propriedades do objeto, as propriedades dos tipos de dados também precisam ser documentadas, conforme disposto a seguir:

- **ValorIndic**: Propriedade utilizada para atribuir valores aos indicadores. Foi definido como domínio a classe Medição de desempenho (MedDesemp) e escopo como tipo número de ponto flutuante;

- **DescricaoDet**: Propriedade utilizada para descrever informações do tipo texto. Foi definido como domínio as classe Plano de gerenciamento de custos (PlanoGerCusto), Relatório de desempenho (RelDesemp) e Ferramentas e técnicas dos processos de controle de custos (FerrTecProcControlCusto), sendo seu escopo como tipo texto;
- **HorasRealiz**: Propriedade utilizada para informar a quantidade de horas realizadas no projeto. Foi definido como domínio as classes Informação do desempenho do trabalho da atividade (InfDesempTrab), Previsão (Previsao) e escopo como tipo número inteiro;
- **HorasPlanej**: Propriedade utilizada para informar a quantidade de horas planejadas do projeto. Foi definido como domínio a classe Linha de base de custos (LinhaBaseCusto) e escopo como tipo número inteiro;

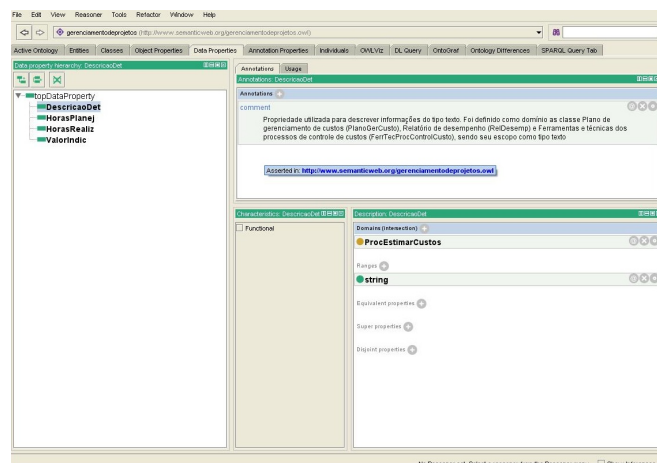


Figura I.7: Modelagem das Data Properties: propriedades de tipos de dados conectam um indivíduo a um valor

- Passo 7: Definição instância de classe. Este propriedade da ontologia permite criar por exemplo o processo de estiva de custo do projeto ABC, conforme representado na Figura I.8.

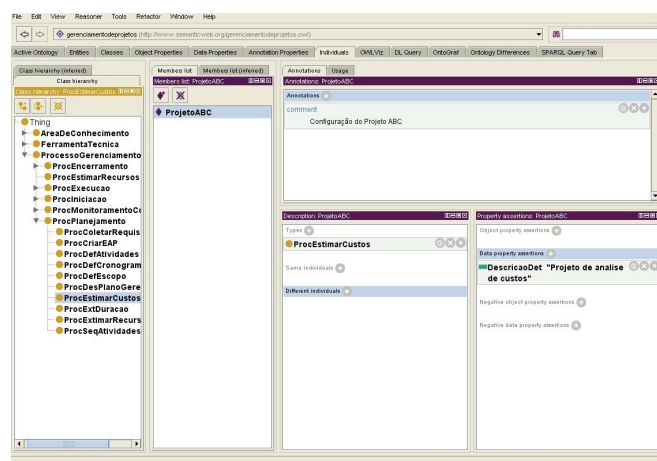


Figura I.8: Instância de Classe

- Passo 8: Uma funcionalidade disponibilizada por um dos plugins do protégé e a DL Query e a SparqQuery, que são mecanismos de consulta de dados. Por exemplo, se fosse necessário saber quais são as instâncias da classe "ProcessoGerenciamentoProjeto", poderia-se utilizar o *plugin* embutido no Protégé que realiza a consulta. A DL Query realiza uma busca tem como base um processamento de motores de inferência, tais como *Fact++*, *RacerPro* e *Hermit*.

A busca de dados é realizada com o uso da *SPARQL Query Language*, que viabiliza buscas na Web estruturada com o uso de RDF. A linguagem SPARQL fornece ao usuário um sistema de recuperação de dados muito poderoso, que permite busca em diferentes repositórios, cujo resultado pode ser adicionado a outras páginas. E faz tudo isso facilmente pela compatibilidade que possui com outras tecnologias empregadas no desenvolvimento da Web Semântica.

É uma linguagem de consulta direcionada para construções RDF. É capaz de realizar consultas de dados provenientes de diferentes fontes de dados, desde que estejam em um formato RDF. Assim como o RDF, a SPARQL também é hoje uma recomendação de tecnologias de suporte ao desenvolvimento da Web Semântica.

Em sua recomendação, *Sparql Query Language for RDF* no W3C, é explicitado que o modelo de dados utilizado pela SPARQL também é semelhante ao empregado no RDF, na seguinte estrutura - sujeito, predicado, objeto contudo os valores aplicados a cada item podem ser variáveis, para atender de forma correta o objetivo da consulta.

Em uma consulta SPARQL primeiramente é necessário definir como referencia a base de dados onde as pesquisas serão realizadas. Isso é realizado, nessa linguagem, com a definição de um bloco conhecido como *PREFIX declarations*. Nesse bloco são estabelecidas as URIs que direcionam para o local de armazenamento dos dados. Neste ponto, são mais evidente o potencial das aplicações de *Web Semântica*, que montam uma rede interconectada e padronizada, com recursos acessíveis pelo seu identificador único.

São quatro os tipos possíveis de consultas na *SPARQL*: *SELECT*, *CONSTRUCT*, *ASK* e *DESCRIBE*. O tipo mais familiar de consultas é o *SELECT*. Assim como em outras linguagens de consultas, ele é seguido por uma cláusula *WHERE* que funciona como um filtro para que a consulta retorne os dados tratados de acordo com as regras aplicadas.

A forma de consulta *CONSTRUCT* oferece opção de retorno da consulta em formato de gráfico. A construção desse gráfico segue a estrutura: sujeito, predicado, objeto, definidos na cláusula *CONSTRUCT*.

O tipo *ASK* retorna, de forma simplificada, se o conteúdo existe na base de dados em questão. E o tipo *DESCRIBE* pode ser descrito como uma forma de solicitar ao sistema uma descrição sobre determinada fonte.

Existem diversos outros recursos disponíveis na linguagem SPARQL, que no objetivo final são muito parecidos com recursos de outras linguagens de consulta. O diferencial está na amplitude da conectividade que só é possível em uma fonte de dados do tamanho da *Web*.

II. ANEXOS

II.1 Estruturas Externas da Mama Feminina

Mama

- **Definições:** glândulas cutâneas modificadas contêm no sexo feminino os elementos que secretam leite para nutrir os recém-nascidos. Nos seres humanos (homens e mulheres) é comum a bimastia, ou seja, a presença de duas mamas. As mamas estão localizadas na face anterior do tórax nos dois sexos, com maior desenvolvimento na mulher do que no homem. Estão projetadas sobre a parede torácica: a partir da 2 até a 4 costela e da linha axilar média até o esterno. Do Latin, mamma, mãe, mama são glândulas que secretam leite, líquido nutritivo materno, destinado a alimentar a criança nos primeiros tempos de vida extra-uterina. Apresentam-se sob a forma de dois hemisférios ou cones de ápice truncado e arredondado, que ajustam pela face plana (posterior) sobre os músculos peitorais maiores correspondentes;

- **Figuras:**

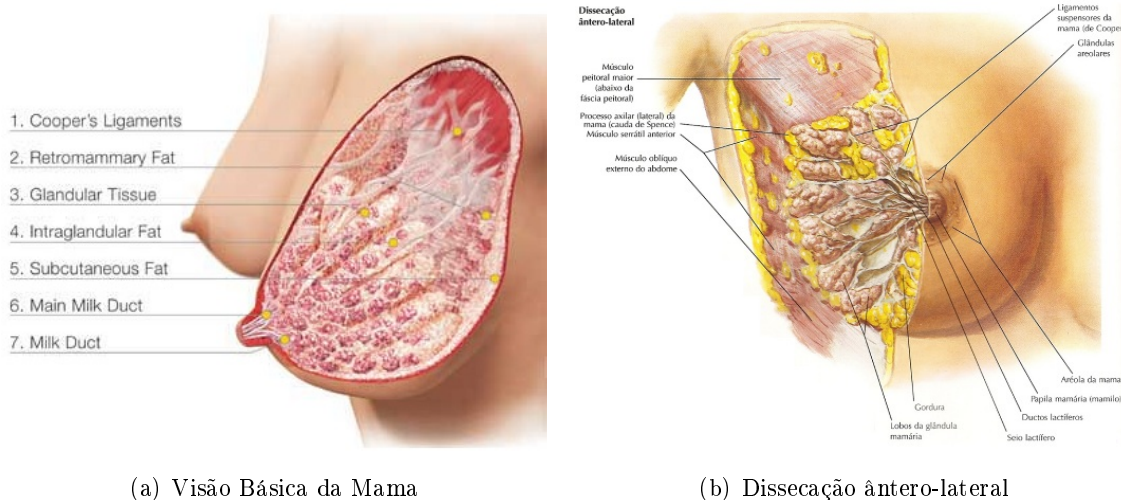
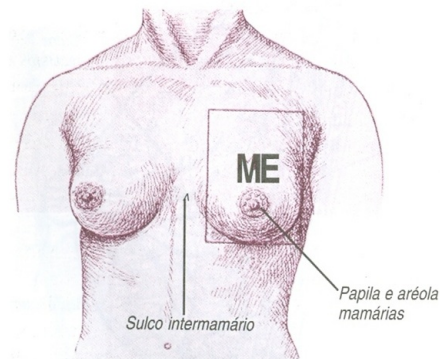


Figura II.1: *Visualização da Mama e ântero-lateral.*

- **Referência:** NETTER, Frank H. Atlas de anatomia humana. 4. ed. Rio de Janeiro, RJ: Elsevier, 2008. 548 p.;

Sulco intermamário

- **Definições:** é o nome dado à região que separa a mama direita da mama esquerda. Também chamado de clivagem;
- **Figura:**



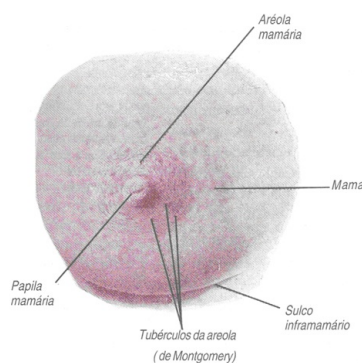
(a) Visão Básica da Mama

Figura II.2: *Visualização da Mama.*

- **Referência:** DI DIO, Liberato João Affonso. Tratado de anatomia aplicada. São Paulo: Pólus Editorial, 1999. 2v.;

Sulco inframamário

- **Definições:** é o nome dado à região situada entre a linha inferior de implantação da mama e a parede do tórax;
- **Figura:**



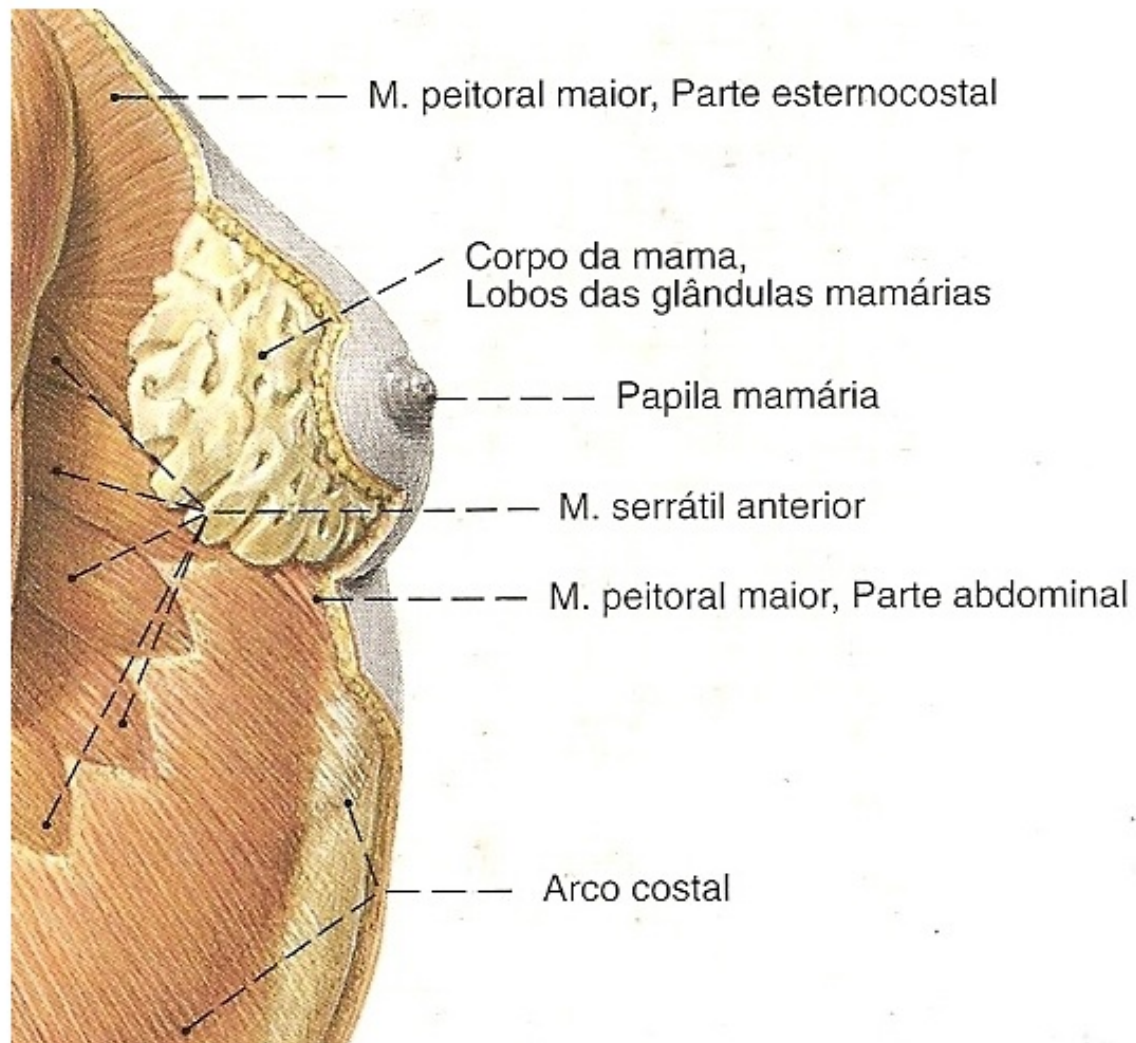
(a) Sulco inframamário

Figura II.3: *Visualização do Sulco inframamário.*

- **Referência:** DI DIO, Liberato João Affonso. Tratado de anatomia aplicada. São Paulo: Pólus Editorial, 1999. 2v.;

Corpo da mama

- **Definições:** engloba as glândulas da mama e todas as estruturas secretoras e não secretoras, a papila da mama correspondente ao mamilo, a proeminência pigmentada cilíndricocônica disposta na superfície anterior da mama, circundada pela aréola da mama. As glândulas mamárias estão localizadas no tecido subcutâneo da parede torácica anterior. Suas faces superiores planas não apresentam demarcação acentuada a partir da face anterior da parede torácica anterior. Lateralmente e anteriormente suas margens são bem definidas;
- **Figura:**



(a) Corpo da Mama

Figura II.4: *Visualização da Mama.*

- **Referência:** PUTZ, Reinhard; PABST, Reinhard; PUTZ, Renate (Ed.) (Colab.). Sobotta: atlas de anatomia humana. 21. ed Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2000. 2v.;

Papila da mama

- **Definições:** também conhecida como mamilo é a estrutura onde encontram-se os orifícios dos ductos lactíferos. É a proeminência pigmentada cilíndricocônica localizada na superfície anterior da mama e circundada pela aréola. É uma proeminência "mamilar ou mamelonada" que contém os orifícios dos ductos lactíferos. Geralmente está localizada na linha clavicular média ao nível do IV espaço intercostal. A papila direita está frequentemente situado em nível inferior ao da esquerda. É uma saliência irregularmente cilíndrica, comparável a um pequeno dedal. É pigmentada e está situada no centro de uma área circular, também escura. É ricamente inervada e possui terminações nervosas de vários tipos, localizadas principalmente na derme.

É uma proeminência, frequentemente ao nível do quarto espaço intercostal, que contém as diminutas aberturas dos ductos lactíferos da glândula. É constituída em sua maior parte de fibras musculares lisas, dispostas circularmente, de modo que ao se contraírem comprimem os ductos, produzindo ereção da papila da mama. O mamilo e a aréola (a pele em torno do mamilo) são cobertos por epitélio pavimentoso estratificado queratinizado, de cor castanha-clara, ou escura, por causa da forte pigmentação local, que aumenta durante a gravidez. A derme do mamilo e da aréola se caracteriza pela presença de numerosas fibras musculares lisas, dispostas circularmente. Glândulas sebáceas, sudoríparas, écrinas e apócrinas também podem ser encontradas na derme. Além disto, o mamilo é rico em terminações nervosas sensitivas.;

- **Figuras:**

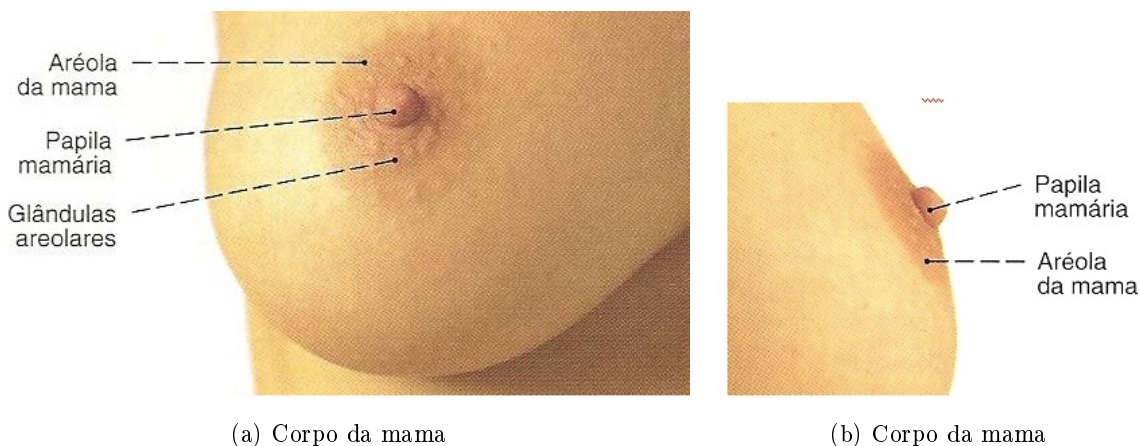


Figura II.5: *Visualização da mama.*

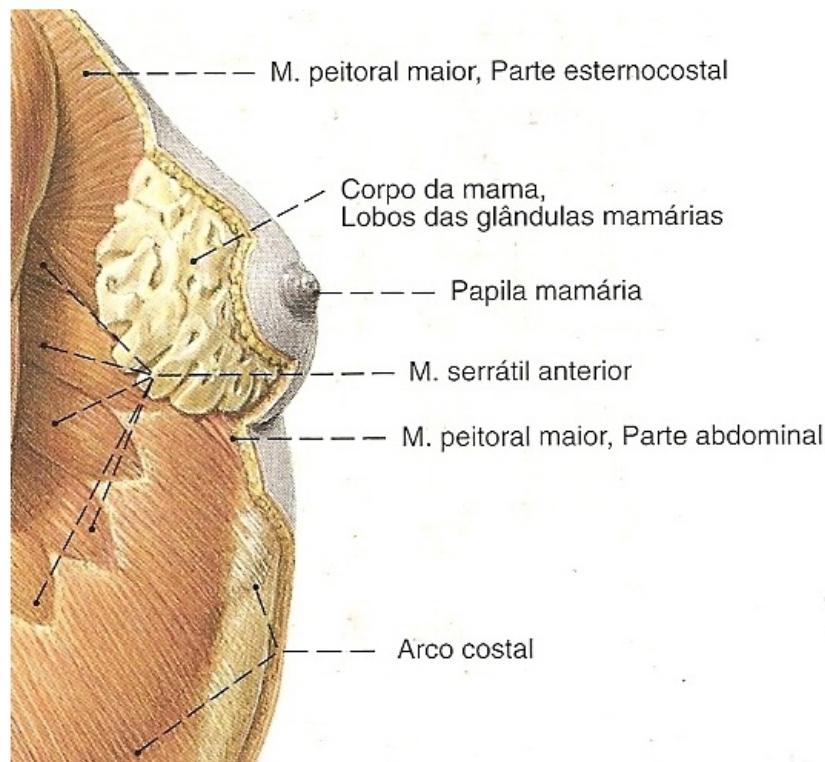
- **Referência:** PUTZ, Reinhard; PABST, Reinhard; PUTZ, Renate (Ed.) (Colab.). Sobotta: atlas de anatomia humana. 21. ed Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2000. 2v.;

Mamilo

- **Definições:** Ver papila da mama/ papila mamária ;
- **Referência:** PUTZ, Reinhard; PABST, Reinhard; PUTZ, Renate (Ed.) (Colab.). Sobotta: atlas de anatomia humana. 21. ed Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2000. 2v.;

Aréola mamária

- **Definições:** é uma área circular pigmentada que circunda a papila mamária. Durante a gravidez, ela adquire cor marrom. É uma área circular, também escura, de aproximadamente 3 cm de diâmetro. Contêm glândulas sudoríparas, glândulas sebáceas formadoras de tubérculos que aumentam durante a gravidez, e glândulas mamárias acessórias composta por ductos minúsculos;
- **Figura:**



(a) Aréola mamária

Figura II.6: *Visualização da Aréola mamária.*

- **Referência:** PUTZ, Reinhard; PABST, Reinhard; PUTZ, Renate (Ed.) (Colab.). Sobotta: atlas de anatomia humana. 21. ed Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2000. 2v.;

Músculo areolopapilar

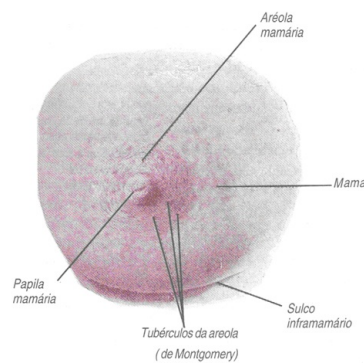
- **Definições:** é uma musculatura lisa que inclui fibras circulares, espirais e longitudinais. Ele envolve a porção terminal dos ductos lactíferos. Grande quantidade de fibras musculares lisas na região profunda do cório da aréola e da papila que dispõem-se de duas formas, umas em círculos concêntricos e outras radiadas. Músculo subareolar.;
- **Referência:** PUTZ, Reinhard; PABST, Reinhard; PUTZ, Renate (Ed.) (Colab.). Sobotta: atlas de anatomia humana. 21. ed Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2000. 2v.;

Músculo subareolar

- **Definições:** ver músculo areolopapilar;
- **Referência:** PUTZ, Reinhard; PABST, Reinhard; PUTZ, Renate (Ed.) (Colab.). Sobotta: atlas de anatomia humana. 21. ed Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2000. 2v.;

Tubérculo de Montgomery

- **Definições:** são glândulas areolares e sebáceas que hipertrofiadas são conhecidas como glândulas de Montgomery. São protruções na superfície da aréola que ocorrem durante a gravidez. Conhecidas também como tubérculos areolares.;
- **Figura:**



(a) Tubérculo de Montgomery

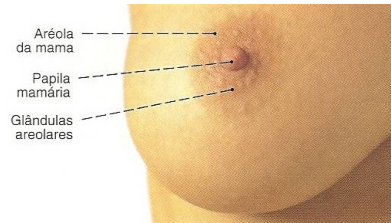
Figura II.7: *Visualização do Tubérculo de Montgomery.*

- **Referência:** DI DIO, Liberato João Affonso. Tratado de anatomia aplicada. São Paulo: Pólus Editorial, 1999. 2v.;

Glândulas Areolares

- **Definições:** numerosos rudimentos nodulares de glândulas lactíferas encontrados na aréola. Tubérculo de Montgomery;

- **Figura:**



(a) Glândulas Areolares

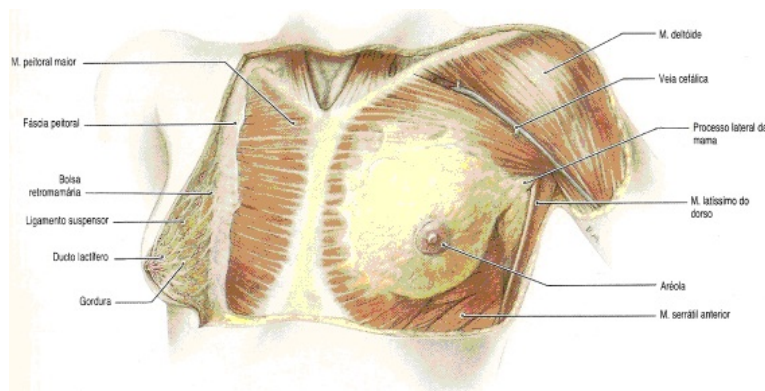
Figura II.8: *Visualização das Glândulas Areolares.*

- **Referência:** NETTER, Frank H. Atlas de anatomia humana. 4. ed. Rio de Janeiro, RJ: Elsevier, 2008. 548 p.;

II.2 Estruturas Internas da Mama Feminina

Glândula mamária

- **Definições:** é uma glândula alveolar composta, exócrina e apócrina. Existem, em média, 15 glândulas alveolares compostas (lobos da glândula mamária), cada uma formada por lóbulos da glândula mamária. Cada lóbulo possui um ducto lactífero cuja terminação apresenta um seio lactífero, que se abre na papila mamária (mamilo). É formada por lobos que se dispõem como os raios de uma roda, tendo por centro a papila da mama. Constitui o tecido secretor da mama. Situa-se na fáscia superficial. É constituída de 15 a 20 unidades de tecido glandular, cujos lóbulos estão incluídos em um estroma fibroso-areolar, que se irradia do mamilo para o interior da gordura superficial circunjacente;
- **Figura:**



(a) Glândula mamária

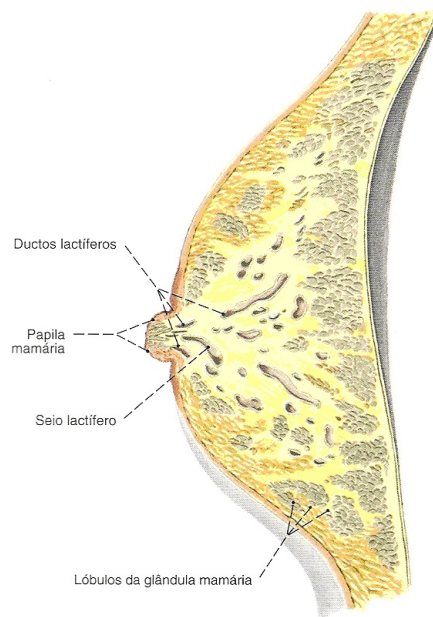
Figura II.9: *Visualização da Glândula mamária.*

- **Referência:** AGUR, A. M. R. Grant atlas de anatomia/ Anne m. r. agur. 9. ed Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1993. 646p;

Lobos da glândula mamária

- **Definições:** são glândulas alveolares, cada uma formada por lóbulos da glândula mamária. Totalizam em média 15 unidades. Os conjuntos de lobos mamários formam a glândula mamária. São alongados (raios da roda) e percorridos centralmente por um ducto coletor que se denomina ducto lactífero. São em número de 15 a 20 e são constituídos por lóbulos. As glândulas mamárias, que formam o principal componente das duas mamas femininas, são glândulas tubuloacinosas compostas, constituídas por 15 a 25 lobos. Estes lobos estão separados entre si por tecido conjuntivo denso e tecido adiposo. Cada lobo está dividido em um número variável de lóbulos por tecido conjuntivo denso. Os lóbulos contem os ácino secretores e seus ductos, envolvidos por tecido conjuntivo celular, especializado, intralobular;

- **Figura:**



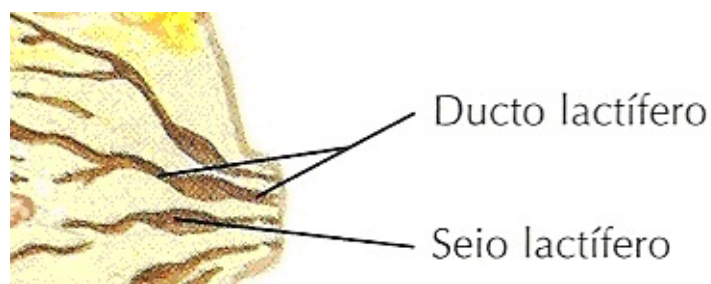
(a) Lobos da glândula mamária

Figura II.10: *Visualização da glândula mamária.*

- **Referência:** PUTZ, Reinhard; PABST, Reinhard; PUTZ, Renate (Ed.) (Colab.). Sobotta: atlas de anatomia humana. 21. ed Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2000. 2v.;

Ductos lactíferos

- **Definições:** é um ducto coletor. Canal galactóforo;
- **Figura:**



(a) Ductos lactíferos

Figura II.11: *Visualização dos Ductos lactíferos.*

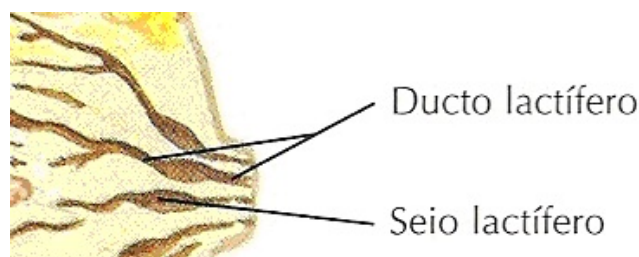
- **Referência:** NETTER, Frank H. Atlas de anatomia humana. 4. ed. Rio de Janeiro, RJ: Elsevier, 2008. 548 p.;

Canal galactóforo

- **Definições:** ver ducto lactífero;
- **Referência:** NETTER, Frank H. Atlas de anatomia humana. 4. ed. Rio de Janeiro, RJ: Elsevier, 2008. 548 p.;

Seios lactíferos

- **Definições:** pequena dilatação fusiforme. Ampola galactófora;
- **Figura:**



(a) Seios lactíferos

Figura II.12: *Visualização dos seios lactíferos.*

- **Referência:** NETTER, Frank H. Atlas de anatomia humana. 4. ed. Rio de Janeiro, RJ: Elsevier, 2008. 548 p.;

Ampola galactófora

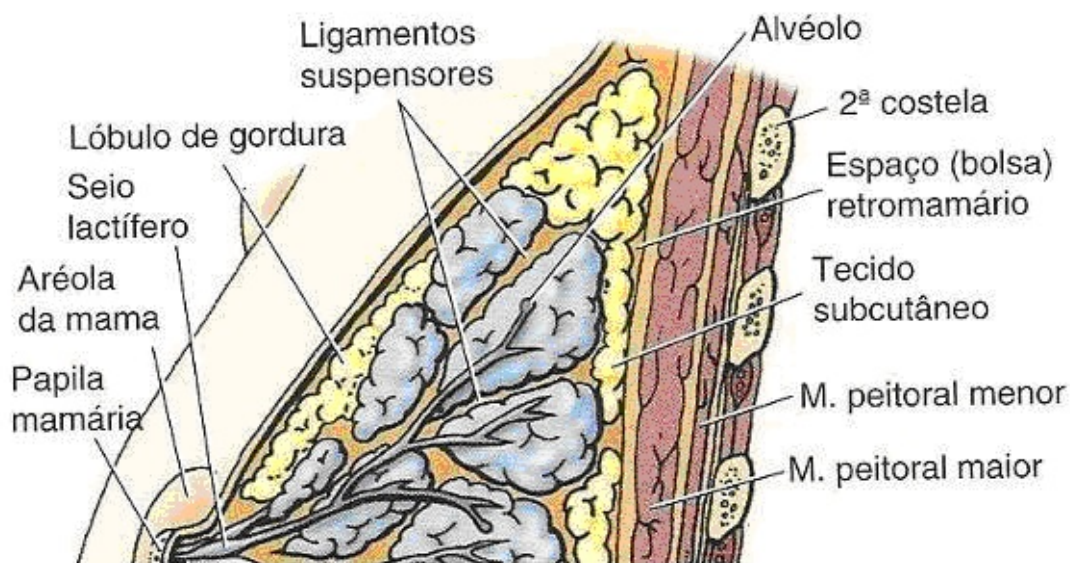
- **Definições:** ver seio lactífero;
- **Referência:** NETTER, Frank H. Atlas de anatomia humana. 4. ed. Rio de Janeiro, RJ: Elsevier, 2008. 548 p.;

Poros lactíferos

- **Definições:** pequenos orifícios existentes na papila da mama;
- **Referência:** MOORE, Keith L.; DALLEY, Arthur F. Anatomia orientada para a clínica. 5. ed. Rio de Janeiro, RJ: Guanabara Koogan, c2007. xxxii, 1101 p.;

Ligamentos suspensores da mama

- **Definições:** são espessamentos infraclaviculares da fáscia superficial da tela subcutânea ou processos fibrosos periféricos, que se fundem com o estrato superficial da tela. Liga a glândula com firmeza à derme da pele sobrejacente. São particularmente bem desenvolvidos na parte superior da glândula e ajudam a sustentar o tecido glandular. A glândula mamária está firmemente fixada na derme da pele suprajacente por ligamentos subcutâneos (retináculos da pele) - os ligamentos suspensores (de Cooper). Estes ligamentos, especialmente bem desenvolvidos na parte superior da glândula, ajudam a sustentar os lóbulos da glândula. Durante a puberdade (dos 8 aos 15 anos), as mamas normalmente crescem em razão do desenvolvimento glandular e da deposição aumentada de gordura;
- **Figura:**



(a) Ligamentos suspensores da mama.

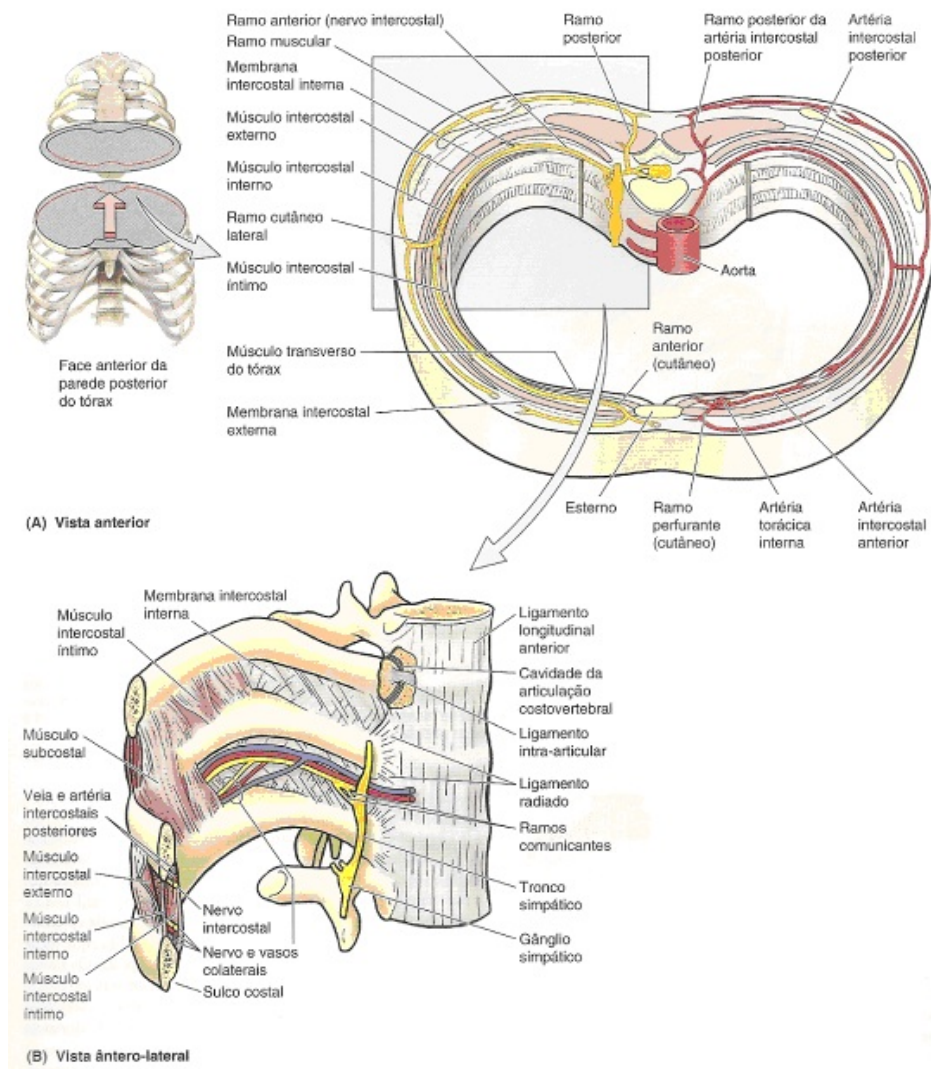
Figura II.13: *Visualização dos ligamentos suspensores da mama.*

- **Referência:** MOORE, Keith L.; DALLEY, Arthur F. Anatomia orientada para a clínica. 5. ed. Rio de Janeiro, RJ: Guanabara Koogan, c2007. xxxii, 1101 p.;

Nervos

- **Definições:** Nervos intercostais (2^ž a 6^ž), via ramos cutâneos lateral e anterior. Esses nervos, os vasos intercostais, conduzem fibras simpáticas;

- **Figura:**



(a) Nervos.

Figura II.14: *Visualização do nervos.*

- **Referência:** MOORE, Keith L.; DALLEY, Arthur F. Anatomia orientada para a clínica. 5. ed. Rio de Janeiro, RJ: Guanabara Koogan, c2007. xxxii, 1101 p.;

II.3 Regras do Shell Especialista

Regra	Variável	Valores	Conclusão	Variável - Estilo	
1	SE	Aprendo melhor algo novo quando posso =	falar sobre ele.	ENTÃO	Estilos = Ativo CNF 40%
2			pensar sobre ele.		Estilos = Reflexivo CNF 1%
3	SE	Uma vez que eu entendo =	todas as partes, entendo todo o assunto.	ENTÃO	Estilos = Reflexivo CNF 40%
4			todo o assunto vejo como as partes se encaixam.		Estilos = Ativo CNF 1%
5	SE	Acho mais fácil =	aprender conceitos.	ENTÃO	Estilos = Sequencial CNF 33%
6			aprender fatos.		Estilos = Global CNF 1%
7	SE	Num livro com muitas figuras, geralmente eu =	me focalizo no texto.	ENTÃO	Estilos = Global CNF 33%
8			observo as figuras e gráficos com muita atenção.		Estilos = Sequencial CNF 1%
9	SE	Quando leio não ficção prefiro: =	algo que me dei novas idéias para pensar.	ENTÃO	Estilos = Verbal CNF 33%
10			algo que me ensine novos fatos ou que me ensine como fazer alguma coisa.		Estilos = Visual CNF 1%
11	SE	Gosto de professores =	que colocam muitos diagramas no quadro.	ENTÃO	Estilos = Visual CNF 33%
12			que utilizam muito tempo explicando.		Estilos = Verbal CNF 1%
13	SE	Quando analiso uma história ou uma novela =	eu entendo os temas quando termino a leitura, mas tenho que voltar para trás para achar os incidentes que os demonstram.	ENTÃO	Estilos = Verbal CNF 33%
14			penso nos incidentes e tento junta-los para entender os temas que são tratados.		Estilos = Visual CNF 1%
15	SE	Prefiro a idéias de =	certeza.	ENTÃO	Estilos = Sequencial CNF 33%
16			teoria.		Estilos = Global CNF 1%
17	SE	Lembro melhor =	o que ouço.	ENTÃO	Estilos = Sensitivo CNF 40%
18			o que vejo.		Estilos = Intuitivo CNF 1%
19	SE	É mais importante para mim que um instrutor =	entregue uma visão geral e relacione o material com outros temas.	ENTÃO	Estilos = Intuitivo CNF 40%
20			estruture a matéria em seqüências claras.		Estilos = Sensitivo CNF 1%

Figura II.15: Regras de avaliação do estilo de aprendizagem[74].

Regra	Variável	Valores	Conclusão	Variável - Estilo
21	SE Prefiro estudar =	em grupo.	ENTÃO	Estilos = Ativo CNF 40% Estilos = Reflexivo CNF 1%
22		sozinho(a).	ENTÃO	Estilos = Reflexivo CNF 40% Estilos = Ativo CNF 1%
23	SE Quando leio para lazer, prefiro autores que =	dizem claramente o que eles pensam.	ENTÃO	Estilos = Sensitivo CNF 40% Estilos = Intuitivo CNF 1%
24		dizem coisas em formas criativas e interessantes.	ENTÃO	Estilos = Intuitivo CNF 40% Estilos = Sensitivo CNF 1%
25	SE Quando vejo um diagrama, geralmente lembro =	da sua imagem.	ENTÃO	Estilos = Visual CNF 33% Estilos = Verbal CNF 1%
26		do que o instrutor falou sobre isso.	ENTÃO	Estilos = Verbal CNF 33% Estilos = Visual CNF 1%
27	SE Quando considero um conjunto de informações, tendo a: =	focalizar os detalhes e perder a imagem de conjunto.	ENTÃO	Estilos = Sequencial CNF 33% Estilos = Global CNF 1%
28		tentar entender o quadro geral antes de entrar nos detalhes.	ENTÃO	Estilos = Global CNF 33% Estilos = Sequencial CNF 1%
29	SE Quando alguém me apresenta dados, prefiro =	diagramas e gráficos.	ENTÃO	Estilos = Visual CNF 33% Estilos = Verbal CNF 1%
30		textos que resumam os resultados.	ENTÃO	Estilos = Verbal CNF 33% Estilos = Visual CNF 1%
31	SE Quando começo a escrever um artigo ou qualquer outro documento prefiro =	começar diversas partes do paper e depois organiza-las	ENTÃO	Estilos = Global CNF 33% Estilos = Reflexivo CNF 1%
32		começar do início e assim seguir até o final.	ENTÃO	Estilos = Sequencial CNF 33% Estilos = Global CNF 1%
33	SE Quando desejo trabalhar num projeto de grupo prefiro =	que cada um contribua com suas idéias em conjunto.	ENTÃO	Estilos = Ativo CNF 40% Estilos = Reflexivo CNF 1%
34		que cada um pense em particular e depois junte as idéias.	ENTÃO	Estilos = Reflexivo CNF 40% Estilos = Ativo CNF 1%
35	SE Quando conheço pessoas numa festa, lembro mais facilmente: =	como elas se pareciam.	ENTÃO	Estilos = Visual CNF 33% Estilos = Verbal CNF 1%
36		o que elas falaram de elas mesmas.	ENTÃO	Estilos = Verbal CNF 33% Estilos = Visual CNF 1%
37	SE Sou mais bem considerado(a) =	extrovertido(a).	ENTÃO	Estilos = Ativo CNF 40% Estilos = Reflexivo CNF 1%
38		reservado(a).	ENTÃO	Estilos = Reflexivo CNF 40% Estilos = Ativo CNF 1%
39	SE A idéia de fazer um trabalho em grupo, com um tema para todo o grupo, =	me atrai.	ENTÃO	Estilos = Ativo CNF 40% Estilos = Reflexivo CNF 1%
40		não me atrai.	ENTÃO	Estilos = Reflexivo CNF 40% Estilos = Ativo CNF 1%
41	SE Ao fazer cálculos longos: =	acho que checar meu trabalho é cansativo e devo me forçar a fazê-lo.	ENTÃO	Estilos = Intuitivo CNF 40% Estilos = Sensitivo CNF 1%
42		prefiro repetir todos os meus cálculos e checar cuidadosamente meu trabalho.	ENTÃO	Estilos = Sensitivo CNF 40% Estilos = Intuitivo CNF 1%

Figura II.16: Regras de avaliação do estilo de aprendizagem[74].

II.4 Modelagem OntoMama

O domínio ou dimensões do estudo desse modelo, denominado onto-mama estão dispostos de maneira preliminar no trabalho de Klavdianos em 2011 [48] [162] e são complementares as necessidades dessa tese. Este estudo faz parte de um projeto nacional, oriundo de um projeto de pesquisa destinado a criação de um atlas anatômico 3D aplicado à mama tendo as seguintes dimensões como base:

- **Anatomia da mama feminina:** descrição ontológica da estrutura externa e interna da mama feminina;
- **Procedimento de punção da mama:** descrição ontológica do procedimento de punção da mama;

- **Equipamento médico:** compreende a descrição ontológica dos equipamentos e materiais utilizados no procedimento de punção da mama;

Na modelagem desse trabalho foi utilizada uma metodologia denominada *Methontology* para a formalização do domínio em estudo, exemplificado na Figura II.17. Este método de modelagem foi escolhido sobre os seguintes pontos:

- **Abrangência de atuação:** descrever o ciclo completo de criação de um modelo ontológico que compreende o planejamento, criação e evolução/manutenção do modelo;
- **Prototipagem:** prover a capacidade de criação de mini modelos no decorrer de todo o ciclo de desenvolvimento do modelo ontológico de modo a garantir o seu desenvolvimento incremental;
- **Adaptabilidade:** ser facilmente adaptável pela equipe;
- **Documentação:** prover documentação suficiente para o seu entendimento por parte dos integrantes da equipe do projeto;
- **Reputação:** possuir boa reputação e reconhecimento no meio científico;
- **Independência:** ser independente de ferramentas e padrões proprietários;

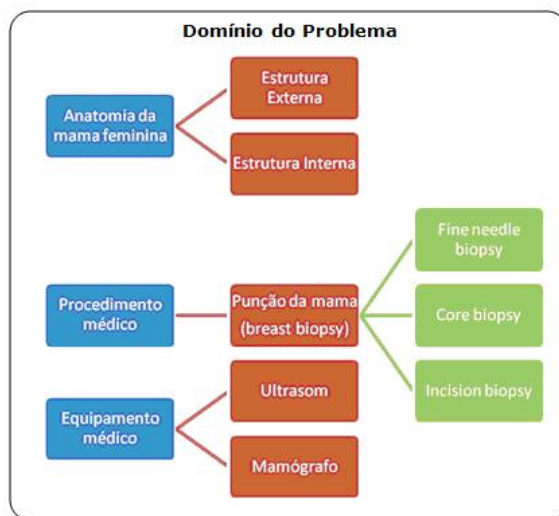


Figura II.17: Domínio do Problema.

O processo de construção da ontologia seguiu um conjunto de etapas, conforme o trabalho de Klavdianos em 2011 [48] [162]:

- **Especificação:** Durante esta etapa, elaborou-se o documento de especificação de requisitos da ontologia que define as fronteiras, os objetivos e as características do modelo.;

- **Conceitualização:** Na etapa de conceitualização foram elaborados três glossários de termos da anatomia da mama feminina, além de diagramas que definem a estrutura do modelo ontológico em uma visão de alto nível;
- **Formalização e Implementação:** As etapas de formalização (Arquitetura Lógica, Figuras 41 a 43) e implementação (Modelo Ontológico, Figuras 44 a 46) do modelo foram concluídas com o Protégé, que gerou como resultado final do trabalho o modelo de ontologia em formato *OWL*;