

**Universidade Federal da Paraíba
Centro de Ciências Exatas e da Natureza
Departamento de Informática
Programa de Pós-Graduação em Informática**

Simulação Médica Baseada em Realidade Virtual para Ensino e Treinamento em Ginecologia

Alysson Diniz dos Santos

**João Pessoa
2010**

Alysson Diniz dos Santos

Simulação Médica Baseada em Realidade Virtual para Ensino e Treinamento em Ginecologia

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências da Computação da Universidade Federal da Paraíba como requisito para a obtenção do Título de Mestre em Informática.

Orientadores: Prof. Dr. Ronei Marcos de Moraes
Prof^a. Dra Liliane dos Santos Machado

João Pessoa
2010

S237s Santos, Alysson Diniz dos.

Simulação Médica Baseada em Realidade Virtual para Ensino e Treinamento em Ginecologia / Alysson Diniz dos Santos.- - João Pessoa, 2010.

154f. : il.

Orientadores: Ronei Marcos de Moraes e Liliane dos Santos Machado.
Dissertação (Mestrado) – UFPB/CCEN.

1.Ciência da computação. 2.Sistema especialista. 3.Realidade virtual – Ensino e treinamento. 4.Simulador virtual. 5. Medicina.

UFPB/BC

CDU : 681.3(043)

Agradecimentos

Aos meus pais Maria de Fátima Diniz dos Santos e Fernando Carvalho dos Santos, pela vida, ensinamentos, amor e carinho incondicionalmente dedicados e por estar ao meu lado, sempre que necessário.

Aos meus orientadores, Liliane dos Santos Machado e Ronei Marcos de Moraes que estiveram sempre à disposição e foram pacientes em me guiar durante este processo.

Aos meus irmãos Valéria Diniz de Miranda e Ranieri Diniz dos Santos pelo valoroso crescimento que desfrutei ao lado de vocês e pelo suporte durante todo esse tempo ao seu irmão mais novo.

À Emeline Bandeira por ser a melhor mulher que um homem poderia desejar.

Aos profissionais de saúde que colaboraram com esta pesquisa, em especial, Jânio Araruna Carvalho, Gladysmary Araruna Carvalho, Maíra Ellen Araruna Menezes, Simara Ayane Pereira de Carvalho e Joseane Thailine Pereira de Carvalho.

Aos amigos do Laboratório de Tecnologias para Ensino Virtual e Estatística pelas divertidas horas juntos e pelo apoio nas horas difíceis. Agradecimentos especiais a Bruno Rafael e Daniel Faustino que tiveram a paciência de me aturar por mais de três anos.

Aos demais amigos, que eu não me arrisco a citar o nome, sob pena deste documento passar das duzentas páginas, mas que foram fundamentais nessa minha caminhada.

Vocês são a minha força, muito obrigado.

Resumo

A utilização de técnicas de Realidade Virtual na construção de sistemas computacionais procura gerar sistemas imersivos e interativos. Estas características fazem com que estes sistemas sejam utilizados em simulações de diversas situações do cotidiano. Tais características, associadas aos crescentes questionamentos levantados sobre os paradigmas tradicionais de ensino na área médica e ao avanço tecnológico que permite a criação de simulações cada vez mais realistas, alavancaram a construção de simuladores virtuais com o intuito de prover estudo e treinamento de procedimentos médicos.

O objetivo deste trabalho é discutir a utilização de simuladores computacionais baseados em Realidade Virtual para o auxílio ao ensino e treinamento de procedimentos médicos, particularmente em ginecologia. Como uma consequência direta deste estudo foi proposto e desenvolvido um sistema de simulação de exame ginecológico baseado em RV, o SITEG. Este simulador tem por finalidade o fornecimento de um ambiente tridimensional e interativo para o estudo e treinamento na realização do exame ginecológico, com a possibilidade do monitoramento e avaliação da interação do usuário. No final deste trabalho são discutidos os resultados dos estudos, da pesquisa e da implementação do simulador e são propostos trabalhos futuros no desenvolvimento do sistema.

Palavras-chave: *estudo, treinamento, medicina, avaliação, sistema especialista, realidade virtual, simulador virtual*

Abstract

The use of Virtual Reality techniques in computational systems intends to generate immersive and interactive systems. The interactive and immersive nature of such systems motivates their use in simulations of various situations. The recent questions raised about the traditional paradigms of teaching in the medical field and the technological advances that permits the development of high fidelity simulations, encouraged the building of virtual simulators in order to provide study and training in medical procedures.

The aim of this work is to discuss the use of Virtual Reality based simulators to help the teaching and training of medical procedures. As a product of this research, it is detailed the development of a Virtual Reality simulation system to gynecological examination. The objective of this system is providing of a three-dimensional and interactive environment to help the teaching and training of gynecological examination. Other important feature of the system is the assessment of the user interaction. By the end of this work, it is discussed the studies, research and development results and are proposed future works.

Keywords: study, training, medicine, assessment, specialist systems, virtual reality, virtual simulator

Lista de Figuras

FIGURA 1 - SIMULADOR DE COLETA DE MEDULA ÓSSEA [MACHADO, 2003B, PP. 53]	29
FIGURA 2 - UTILIZAÇÃO DO MIST – MINIMALLY INVASIVE SURGERY TRAINING [MCCLOY, 2001, PP. 913].....	30
FIGURA 3 - ARCM SIMULADOR HÍBRIDO UTILIZADO PARA A SIMULAÇÃO DA APLICAÇÃO DE ANESTESIA EM UMA ARTROSCOPIA NO JOELHO. [GABA, 2001, PP. 180]	31
FIGURA 4 - UMA TAREFA DE DUAS MÃOS, NA QUAL O USUÁRIO DEVE LOCALIZAR E AGARRAR UM TUBO POSICIONADO ALEATORIAMENTE [GOR, 2003, PP. 182].....	32
FIGURA 5 - ANÁLISE E SÍNTESE DA TEXTURA: (A,B) ÚTERO ORIGINAL E ARTIFICIAL, (C,D) OVÁRIO ORIGINAL E ARTIFICIAL [SZÉKELY, 1999, PP. 352].....	33
FIGURA 6 - DISPOSITIVOS HÁPTICOS. A) JOYSTICK COM RETORNO DE FORÇA [MICROSOFT, 2010], B) LUVA DE DADOS [CYBERGLOVE, 2010] E C) DISPOSITIVO HÁPTICO DE BASE FIXA E COM RETORNO DE FORÇA PHANTOM OMNI.....	37
FIGURA 7 - SIMULADORES VIRTUAIS PARA MEDICINA E SEUS DISPOSITIVOS HÁPTICOS ASSOCIADOS. A) SIMULADOR DE PALPAÇÃO VIRTUAL HAPTIC BACK [HOLLAND, 2004, PP. 91], B) SIMULADOR DE PUNÇÃO ANESTÉSICA [FARBER, 2009, PP. 93] E C) SIMULADOR DE PATOLOGIAS DA GARGANTA [RUTHENBECK, 2008, PP. 434].	38
FIGURA 8 - ARQUITETURA GENÉRICA DE UM SISTEMA DE AVALIAÇÃO PARA TREINAMENTO BASEADO EM RV [MORAES, 2003].....	41
FIGURA 9 - VISÃO GERAL SEQUENCIADA DOS PROCEDIMENTOS DE UM EXAME GINECOLÓGICO.	49
FIGURA 10 - ETAPAS DO EXAME GINECOLÓGICO SIMULADAS NO SITEG.	52
FIGURA 11 - DIAGRAMA DE CASOS DE USO DO SITEG	54
FIGURA 12 – VISÃO ARQUITETURAL DO SITEG.....	55
FIGURA 13 - RELAÇÃO ENTRE OS MODOS DE OPERAÇÃO E A VISÃO ARQUITETURAL DO SISTEMA.....	57
FIGURA 14 - ÓCULOS OBTURADORES UTILIZADOS NO SITEG.	63
FIGURA 15 - MODELO DE INFERÊNCIA FUZZY DE MAMDANI. ADAPTADO DE [MAMDANI, 1974].....	66
FIGURA 16 - FUNÇÕES DE PERTINÊNCIA TRIANGULAR E TRAPEZOIDAL [NOBRE, 1997].....	67
FIGURA 17- ARQUITETURA INICIAL DO SISTEMA DE AVALIAÇÃO DO SITEG PROPOSTA EM 2006 [MACHADO, 2006C].	71
FIGURA 18 - ARQUITETURA DO SISTEMA DE AVALIAÇÃO DO SITEG.	72
FIGURA 19 - DIVISÃO DO COLO EM SEÇÕES PARA CAPTAÇÃO DA VARIÁVEL COBERTURA NO PROCEDIMENTO DE COLETA.....	73
FIGURA 20 - FUNÇÕES DE PERTINÊNCIA DA VARIÁVEL DE ENTRADA "CRU", QUE REPRESENTA A VISUALIZAÇÃO DO COLO DO ÚTERO ANTES DA APLICAÇÃO DE QUALQUER SUBSTÂNCIA.....	74
FIGURA 21 - ARQUITETURA DO FRAMEWORK CYBERMED [MACHADO, 2009].	76
FIGURA 22 - MODELOS TRIDIMENSIONAIS UTILIZADOS NO SITEG. A) MODELO DO COLO DO ÚTERO (MODELO DE CENA) E B) MODELO DO ESPÉCULO (MODELO DE INTERADOR).....	80
FIGURA 23 - EXEMPLO DO PROCESSO DE TEXTURIZAÇÃO UV EM UMA MALHA QUADRANGULAR DE UMA ESFERA	81
FIGURA 24- PROCESSO DE TEXTURIZAÇÃO DO MODELO DO COLO ÚTERO. A) DEFINIÇÃO DE COSTURA PARA ABERTURA DA MALHA E B) MAPA DE TEXTURA GERADO, C) TEXTURA DE DIMENSÕES 512X512 CRIADA COM A FERRAMENTA DE EDIÇÃO GIMP E D) MODELO DO COLO DO ÚTERO TEXTURIZADO NO SITEG.	83
FIGURA 25 - ESTRUTURA DE MÓDULOS DO CYBERMED COM DESTAQUE PARA O MÓDULO ASSESS RESPONSÁVEL POR REALIZAR A AVALIAÇÃO DAS AÇÕES DO USUÁRIO. ADAPTADO DE [SANTOS, 2010].	84
FIGURA 26- DIAGRAMA DOS PACOTES DO SUBMÓDULO PARA A CONSTRUÇÃO DE SISTEMAS ESPECIALISTAS FUZZY.	85
FIGURA 27 - DIAGRAMA DE CLASSES DO MÓDULO ASSESS, COM DESTAQUE PARA AS CLASSES E PARA O SUBMÓDULO ADICIONADAS.....	86
FIGURA 28 – DETALHAMENTO DAS ETAPAS DO EXAME GINECOLÓGICO DE ACORDO COM AS SITUAÇÕES SIMULADAS NO SITEG.....	88

FIGURA 29 - DETALHAMENTO DAS ETAPAS DA SITUAÇÃO DE COLO JEC VISÍVEL	90
FIGURA 30 - ESTRUTURA DO ARQUIVO QUE ARMAZENA OS CASOS A SEREM SIMULADOS NO SITEG	91
FIGURA 31 - DIAGRAMA DE CLASSES DOS MÓDULOS DE VISUALIZAÇÃO E INTERAÇÃO DO SITEG.	92
FIGURA 32 - DIAGRAMA DE CLASSES DO MÓDULO DE AVALIAÇÃO DO SITEG.	94
FIGURA 33- VISUALIZAÇÃO DO SITEG NO MODO DE APRESENTAÇÃO.	99
FIGURA 34 - MENU AJUDA DO MODO DE APRESENTAÇÃO DO SITEG.	100
FIGURA 35 - MUDANÇA DO MODO DE APRESENTAÇÃO PARA O MODO DE TREINAMENTO.	100
FIGURA 36 - VISUALIZAÇÃO DA GENITÁLIA EXTERNA NO MODO DE TREINAMENTO.....	101
FIGURA 37 - VISUALIZAÇÃO DO COLO DO ÚTERO NO MODO DE TREINAMENTO.	102
FIGURA 38 - VISUALIZAÇÃO DO COLO DO ÚTERO APÓS A APLICAÇÃO DE LUGOL. MODO DE TREINAMENTO.....	102
FIGURA 39 - EXAME TÁTIL DA PACIENTE COM UTILIZAÇÃO DE DISPOSITIVO HÁPTICO.	103
FIGURA 40 - DEFINIÇÃO DA CONDUTA NO SITEG.	103
FIGURA 41 - MUDANÇA DO MODO DE APRESENTAÇÃO PARA O MODO DE ESTUDO.	104
FIGURA 42 - COLETA DE MATERIAL NO MODO DE ESTUDO.....	105
FIGURA 43 - VISUALIZAÇÃO DO COLO DO ÚTERO APÓS A APLICAÇÃO DE ÁCIDO ACÉTICO. MODO DE ESTUDO.	105
FIGURA 44 - UTILIZAÇÃO DO SITEG COM VISUALIZAÇÃO ESTEREOSCÓPICA COM ÓCULOS OBTURADORES.	106
FIGURA 45 - REALIZAÇÃO DE TESTES COM O SISTEMA DE AVALIAÇÃO DO SITEG. DADOS DO TESTE (ACIDO = 0.5, LUGOL = 0.5, COBERTURA = 4, CONDUTA = 0.5, FORÇA = 0, EXAME = 0.337)	108
FIGURA 46 - EXEMPLO DE UM RELATÓRIO DA AVALIAÇÃO NO SITEG.	110

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - PRÓS E CONTRAS DOS MÉTODOS AUXILIARES DE TREINAMENTO EM MEDICINA. ADAPTADO DE HARDERS (2008).....	26
TABELA 2 - COMPARATIVO ENTRE OS FRAMEWORKS ANALISADOS.....	35
TABELA 3 - ESTIMATIVAS PARA O ANO DE 2010 DAS TAXAS BRUTAS DE INCIDÊNCIA POR 100 MIL E DE NÚMEROS DE CASOS NOVO POR CÂNCER, EM MULHERES, SEGUNDO LOCALIZAÇÃO PRIMÁRIA [INCA, 2010].	47
TABELA 4 - SITUAÇÕES SIMULADAS E NÚMERO DE CASOS DE CADA SITUAÇÃO DO SITEG.....	53
TABELA 5 - PROPRIEDADES HÁPTICAS UTILIZADAS NO COLO DO ÚTERO NO SITEG. VALORES NORMALIZADOS ENTRE 0 E 1 E REPRESENTADOS VIA PERCENTUAL.....	61
TABELA 6 - PRINCIPAIS T-NORMAS E T-CONORMAS [MORAES, 1998].....	65
TABELA 7 - PRINCIPAIS OPERADORES DE IMPLICAÇÃO [MORAES, 1998].	69
TABELA 8 - QUANTIDADE DE CASOS SIMULADOS TOTAL E POR CADA SITUAÇÃO.....	90
TABELA 9- QUANTIDADE DE TESTES REALIZADOS COM O CONJUNTO DE REGRAS DO SITEG.....	107
TABELA 10 - VERIFICAÇÃO DO TEMPO GASTO PARA A EMISSÃO DO RELATÓRIO DA AVALIAÇÃO.....	109

Sumário

Sumário	10
1 Introdução	12
1.1 Motivação	14
1.2 Relevância	15
1.3 Objetivos	16
1.4 Contribuições	17
1.5 Trabalhos correlatos na Instituição	17
1.6 Estrutura da Dissertação	18
2 Embasamento Teórico	20
2.1 Realidade Virtual	21
2.1.1 <i>Tipos de Aplicações da Realidade Virtual</i>	21
2.1.2 <i>Aplicações da Realidade Virtual para Educação</i>	23
2.2 Realidade Virtual para o ensino de medicina	25
2.3 Simuladores e o ensino de medicina	27
2.3.1 <i>Simuladores baseados em modelos físicos</i>	28
2.3.2 <i>Simuladores baseados em computador (simuladores virtuais)</i>	28
2.3.3 <i>Simuladores híbridos</i>	30
2.4 Simuladores baseados em computador para área ginecológica	31
2.5 Questões no desenvolvimento de simuladores virtuais para medicina	33
2.5.1 <i>Utilização de frameworks</i>	33
2.5.2 <i>Sistemas hápticos</i>	35
2.5.3 <i>Avaliação da interação do usuário</i>	40
2.6 Considerações	43
3 Sistema Interativo para Treinamento e Ensino Ginecológico (SITEG)	45
3.1 Exame ginecológico	46
3.1.1 <i>O câncer de colo do útero</i>	46
3.1.2 <i>Herpes e HPV</i>	47
3.1.3 <i>Procedimento real</i>	48
3.2 SITEG	51
3.3 Projeto do sistema	53
3.3.1 <i>Visão de casos de uso</i>	54
3.3.2 <i>Visão arquitetural</i>	54
3.3.3 <i>Modos de operação do SITEG</i>	56
3.3.4 <i>Requisitos do SITEG</i>	59
3.4 Interação com o sistema	59
3.4.1 <i>Interação háptica</i>	60

3.4.2 <i>Interação visual</i>	61
3.5 Sistema de avaliação do usuário	63
3.5.1 <i>Lógica fuzzy</i>	63
3.5.2 <i>Conceitos gerais</i>	64
3.5.3 <i>Operações com conjuntos fuzzy</i>	65
3.5.4 <i>Sistemas especialistas</i>	66
3.5.5 <i>Projeto do sistema de avaliação do SITEG</i>	70
3.6 Tecnologias e ferramentas utilizadas	75
3.6.1 <i>O framework CyberMed</i>	75
3.7 Considerações	76
4 Desenvolvimento	78
4.1 Definição dos modelos tridimensionais	79
4.2 Criação das texturas	80
4.2.1 <i>Texturização UV</i>	80
4.2.2 <i>Texturização no framework CyberMed</i>	81
4.2.3 <i>Texturização dos modelos do SITEG</i>	82
4.3 Adição ao módulo de avaliação do CyberMed	83
4.4 Implementação dos módulos do SITEG	87
4.4.1 <i>Gerente de casos</i>	87
4.4.2 <i>Módulos de visualização e interação</i>	92
4.4.3 <i>Módulo de avaliação</i>	93
5 Resultados	96
5.1 Validação do SITEG	97
5.2 Resultados do simulador virtual	99
5.3 Resultados do sistema especialista	106
5.4 Considerações	110
6 Conclusões	112
6.1 Considerações sobre a pesquisa desenvolvida	113
6.2 Resultados Obtidos	114
6.3 Trabalhos Futuros	116
6.4 Considerações Finais	117
BIBLIOGRAFIA	119
Anexo I – Modelos tridimensionais utilizados no SITEG	129
Anexo II – Texturas utilizadas no SITEG	131
Anexo III – Funções de pertinência das variáveis do SITEG	135
Anexo IV – Regras utilizadas no sistema especialista do SITEG	139
Anexo V – Questionário de avaliação do sistema	153

1 Introdução

Tradicionalmente os procedimentos médicos que envolvem interação e exame das estruturas físicas do paciente são ensinados através da prática repetida em pacientes, com níveis variados de supervisão. A assertiva de que esse tipo de aproximação gera o nível adequado de perícia está sendo cada vez mais contestada e há evidências cada vez mais convincentes que muitos médicos formados são inadequadamente treinados para realizarem tais procedimentos [Toogood, 1996] [Fox, 2000].

Os sistemas de Realidade Virtual (RV) tem sido usados como ferramenta de estudo e treinamento¹ em vários campos, tais como: a aviação, gestão empresarial, indústria petrolífera, nuclear e militar [Burdea, 2003]. O sucesso atingido em outras áreas do conhecimento, associado ao crescente entusiasmo pela tecnologia, sugerem que a RV oferece potencialmente muitos benefícios para a área médica [Vozenilek, 2004]. Uma característica interessante provida pela simulação por Realidade Virtual é que o treinamento pode ser realizado repetidas vezes e para vários tipos de casos, além de ser controlado por níveis de competência de acordo com aspectos chaves de conhecimento, perícia e comportamento [Satava, 2003] [Satava, 2003b]. De acordo com Harders (2008), outras vantagens dos simuladores por Realidade Virtual (simuladores virtuais) para a área médica, são: a inexistência de riscos para os pacientes e estudantes, a criação de tarefas e cenários por demanda, o aumento na retenção e na precisão do aluno, a facilitação da transferência de experiência e a possibilidade de individualização dos casos.

Este trabalho relaciona-se com pesquisas de sistemas de simulação por RV de procedimentos médicos. A pesquisa objetiva realizar o embasamento teórico acerca dos temas relevantes à construção de um simulador virtual para ensino e treinamento de medicina, bem como observar o estado da arte deste tipo de trabalho no campo científico. Como uma consequência destes estudos é detalhada a concepção e o desenvolvimento do Simulador Interativo para Treinamento e Ensino Ginecológico, o SITEG. Este simulador tem por finalidade o fornecimento de um ambiente tridimensional e interativo para o estudo e treinamento na realização do exame ginecológico, com a

¹ A diferenciação entre estudo e treinamento é feita na Seção 2.1.1

possibilidade do monitoramento e avaliação da interação do usuário.

1.1 Motivação

O conceito de “aprender na prática” tem se tornado cada vez menos aceitável, particularmente quando os procedimentos a serem realizados são invasivos ou de alto-risco [Kneebone, 2004]. De acordo com um estudo de 1999 do *Committee on Quality of Health Care in America*, erros médicos são os culpados por 44000 a 99000 mortes ao ano nos Estados Unidos [CQHCA, 1999]. A maioria desses erros causados por fatores humanos e associados à procedimentos minimamente invasivos [Cuschieri, 2000]. Um estudo mais recente detalha que, embora medidas corretivas tenham sido adotadas, os erros médicos persistem, o que diminui qualidade do sistema de saúde como um todo [Goeschel, 2010]. Além disso, os últimos anos trouxeram mudanças drásticas no nível de conhecimento dos pacientes e da aceitação de erros humanos cometidos pelos médicos na realização de procedimentos ou diagnósticos. A combinação desse processo com um aumento no foco na saúde do paciente colocou à prova os paradigmas tradicionais de ensino na área médica [Harders, 2008]. Apesar desses fatores, a transferência de conhecimento na realização de procedimentos médicos, na maioria dos casos, permanece da maneira tradicional, na qual os estudantes são expostos a procedimentos guiados por um professor mais experiente [Healy, 2002].

As pressões advindas da sociedade acerca dos erros na execução dos procedimentos médicos têm levado a comunidade médica a buscar métodos alternativos para o ensino de conhecimento médico e para a aquisição de experiência na realização dos procedimentos médicos [Vozenilek, 2004]. De acordo com Kopec (2003), tem-se o desenvolvimento de aplicações computacionais voltadas para o ensino de Medicina como uma oportunidade à prevenção e redução de erros. Segundo Kneebone (2004) o acesso por parte dos estudantes de medicina a simuladores virtuais permite à eles um melhor uso da experiência clínica e melhora a qualidade dos diagnósticos fornecidos.

Um fator que motiva esse trabalho é necessidade de um sistemas para auxílio de ensino e treinamento de procedimentos médicos. Desta forma, intenta-se oferecer uma

alternativa ao método tradicional de treinamento que possa contribuir para a redução dos erros na realização dos procedimentos e ajudar na difusão do conhecimento para os alunos de medicina. Assim a implementação desse trabalho gera um sistema para treinamento de um procedimento importante na prevenção de uma série de doenças e, em particular, o câncer de colo de útero.

Outro fator motivador é o acoplamento de um sistema de avaliação do usuário ao simulador virtual detalhado neste trabalho. A possibilidade da realização da avaliação do usuário em simuladores virtuais é relativamente recente (os primeiros trabalhos neste sentido datam do final da década de noventa [Burdea, 1998]). A adição de um sistema para avaliar as interações do usuário adiciona uma componente de retorno de informações ao usuário, característica esta interessante aos simuladores virtuais com propósitos de ensino em medicina [Machado, 2008b].²

1.2 Relevância

Atualmente trabalhos têm sido publicados detalhando a construção de simuladores virtuais para procedimentos médicos diversos, como: cirurgias de catarata [Choi, 2009], laparoscopias [Maciel, 2008], biópsias de pele [Farber, 2009], punções anestésicas [Sessana, 2008] ou patologias de garganta [Ruthenbeck, 2008]. No contexto de ginecologia pode-se encontrar trabalhos como o de Siwe (2009), que utiliza manequins aliados a um sistema computacional³, ou trabalhos como os de Aggarwal (2006), Larsen (2006) e Nicholson (2006) que discutem a utilização de um simulador virtual para procedimentos de laparoscopias ginecológicas. No entanto nota-se a dificuldade em encontrar trabalhos relacionados à simulação do exame ginecológico, este que é fundamental na prevenção do câncer de colo de útero, principalmente em áreas de onde dispõe-se de poucos recursos [Blumenthal, 2005]. Desta forma este trabalho busca suprir uma carência através da simulação de um procedimento importante e para o qual não foram encontrados simuladores virtuais.

² A utilização de sistemas de avaliação em simuladores de RV é discutida na Seção 2.5.3

³ As vantagens e desvantagens deste tipo de abordagem híbrida são discutidas na Seção 2.3.3.

O sistema detalhado neste trabalho serve como uma forma auxiliar de treinamento de exame ginecológico. Desta forma, ele deve contribuir com a redução de erros na realização deste procedimento e com a disseminação da informação para os alunos da área de saúde. Outro fator relevante é o de que durante o desenvolvimento do SITEG estão previstas adições ao *framework* CyberMed⁴ [Machado, 2009]. Este *framework* propõe uma base para a construção de sistemas de RV para a simulação de procedimentos médicos, de forma que a construção deste tipo de simuladores seja padronizada, facilitando a validação, avaliação e integração desses sistemas. As adições feitas ao *framework* servem para torná-lo mais abrangente e adequado ao seu propósito.

1.3 Objetivos

O objetivo geral deste trabalho é discutir a utilização de simuladores virtuais para o auxílio ao ensino e treinamento de procedimentos médicos. Como uma consequência deste estudo é detalhado o desenvolvimento de um sistema de simulação de exame ginecológico baseado em RV, o SITEG. Este sistema deve ser capaz de simular o procedimento do exame ginecológico⁵ e avaliar o desempenho do treinamento realizado pelo usuário.

Dentro dessa perspectiva, foram objetivos específicos:

- levantar o estado da arte dos sistemas de RV para a simulação de procedimentos médicos e investigar as aplicações deste tipo de simulador no exame ginecológico;
- detalhar o desenvolvimento de um sistema de simulação de exame ginecológico baseado em RV, o SITEG;
- utilizar um sistema de avaliação acoplado ao simulador virtual, como apoio ao treinamento em exame ginecológico;
- interagir com especialistas na realização do exame ginecológico, a fim de

⁴ O *framework* CyberMed é explicado em detalhes na Seção 3.6.1

⁵ O procedimento do exame ginecológico é explicado em detalhes na Seção 3.1

modelar um sistema adequado para a simulação de interação médico-paciente, observando a modelagem, visualização e representação das propriedades biomecânicas de estruturas do corpo humano.

1.4 Contribuições

Este trabalho traz como contribuição principal a produção de um sistema de simulação de exame ginecológico, que é utilizado para prover um método alternativo de treinamento e como uma forma de ampliar o estudo neste tipo de exame. O fato de o sistema ser baseado em tecnologias livres facilita a sua real aplicação no contexto das Universidades. A avaliação e utilização deste sistema servem para validar a importância da simulação baseada em RV como forma de apoiar o ensino da medicina.

Outra contribuição trazida pelo trabalho é a expansão do *framework* para suporte à criação de aplicações de RV voltadas para a medicina CyberMed. Tal expansão é importante como forma de contribuir com o estabelecimento de uma ferramenta de padronização e desenvolvimento rápido de simuladores virtuais para o ensino de medicina.

1.5 Trabalhos correlatos na Instituição

Este trabalho se insere no contexto das pesquisas desenvolvidas no Laboratório de Tecnologias para o Ensino Virtual e Estatística da Universidade Federal da Paraíba (LabTEVE-UFPB), cujo objetivo é desenvolver pesquisas e sistemas para apoiar o ensino presencial e à distância através de ferramentas livres. A proposta de um simulador virtual para o auxílio ao ensino de exame ginecológico já havia sido feita por pesquisadores do próprio LabTEVE nos trabalhos de Machado (2006), Machado (2006b) e Souza (2006). Os trabalhos de Machado (2006c) e (2008b) detalham a proposta de um sistema de avaliação integrado ao simulador de exame ginecológico para a realização da avaliação em tempo real do desempenho do usuário na realização do exame ginecológico.

Um projeto diretamente relacionado a este foi o CyberMed que consiste em um

framework para o auxílio no desenvolvimento de aplicações de Realidade Virtual. Outra pesquisa relacionada é o trabalho de Pereira (2008) que detalha a construção de um módulo de rede para a construção de aplicações médicas colaborativas com o CyberMed.

1.6 Estrutura da Dissertação

Esta dissertação está dividida em seis Capítulos. O **Capítulo 2** apresenta os conceitos e definições da Realidade Virtual, assim como o estado da arte sobre as tecnologias e os conceitos da área. Este Capítulo ainda detalha as aplicações com finalidade de ensino e treinamento em medicina e aborda questões concernentes à construção de simuladores para o ensino de medicina. O **Capítulo 3** apresenta o simulador virtual de exame ginecológico SITEG. Este Capítulo detalha o exame ginecológico e as principais situações observadas neste procedimento, especifica o projeto e a arquitetura do sistema, especifica a utilização de sistemas hápticos e estereoscópicos no SITEG, aborda a definição do sistema de avaliação acoplado ao simulador e apresenta as ferramentas e tecnologias que serão utilizadas na sua construção. O **Capítulo 4** apresenta o desenvolvimento do sistema, detalhando a elaboração dos modelos tridimensionais, o processo de texturização, a implementação dos módulos propostos na arquitetura do sistema e do sistema de avaliação do SITEG. O **Capítulo 5** apresenta os resultados do desenvolvimento do sistema. Neste Capítulo são discutidas decisões que foram tomadas durante o desenvolvimento do sistema, são apresentadas algumas telas do sistema e os testes realizados sobre o sistema especialista. O **Capítulo 6** apresenta as conclusões resultantes deste trabalho. Neste Capítulo são apresentados os resultados do desenvolvimento do sistema detalhado no Capítulo anterior, bem como a possibilidade de trabalhos futuros associados ao sistema.

Este documento ainda possui três anexos. O **Anexo I** apresenta os modelos tridimensionais desenvolvidos para o SITEG, detalhando o número de vértices e faces de cada modelo. O **Anexo II** detalha as imagens utilizadas como textura no sistema. O

Anexo III mostra as funções de pertinência das variáveis utilizadas no sistema especialista do SITEG, enquanto o **Anexo IV** apresenta as regras utilizadas no sistema especialista acoplado ao SITEG. O **Anexo V** apresenta o questionário utilizado para a validação do SITEG.

2 **Embasamento Teórico**

A RV encontra aplicação em diversas áreas como: jogos, educação, treinamento militar, engenharia, indústria petroquímica, arquitetura e medicina. Com o crescente avanço tecnológico associado a equipamentos e aplicações, a RV encontra um campo favorável para tornar-se cada vez mais acessível aos usuários finais, buscando firmar-se como uma importante área acadêmica, científica e tecnológica [Burdea, 2003].

O objetivo deste Capítulo é apresentar e discutir os conceitos e tecnologias da Realidade Virtual e suas aplicações para ensino e treinamento em medicina.

2.1 Realidade Virtual

Segundo Burdea (2003) a Realidade Virtual é uma interface humano-computador de alto nível, que envolve simulações em tempo real e interações através de múltiplos canais sensoriais. Desta forma, a RV é uma área que integra tecnologias para criar um ambiente artificial que oferece uma capacidade de interação com o indivíduo, buscando recriar ao máximo a sensação de realidade, preservando a característica de tempo real da simulação. Ela procura integrar os sentidos humanos (como visão, audição e tato) ao ambiente, oferecendo estímulos multi-sensoriais em seus usuários [Rosenblum, 1998]. Através das técnicas de RV é possível a criação de ambientes tridimensionais interativos (ambientes virtuais), que podem contar com interação com dispositivos especiais para a comunicação de estímulos multi-sensoriais ao usuário.

2.1.1 Tipos de Aplicações da Realidade Virtual

A RV vem sendo aplicada de maneira bastante diversificada e em diversas áreas do conhecimento. Novas aplicações surgem constantemente devido a requisições de mercado e como forma de atender às necessidades de explorações tecnológicas. Tais aplicações são concebidas com diversos objetivos, tais como: ensino, entretenimento, treinamento, dentre outros.

- **RV para Entretenimento:** Entretenimento foi um dos campos que primeiro impulsionou o desenvolvimento da RV e ainda persiste como um mercado substancial. A interação mais rica e a imersão tridimensional provida pelos

ambientes virtuais tornam a RV um ambiente fértil para aplicações com a finalidade de divertir os usuários. Atualmente, o crescimento da lucratividade na indústria cinematográfica, dos videogames e dos parques temáticos faz com que empresas de grande porte, tais como Sega, Disney, LucasArts, Microsoft, invistam recursos massivos no desenvolvimento de técnicas, tecnologias e aplicações, que variam desde jogos para consoles ou computadores até parques de diversão com atrações baseadas em RV [Burdea, 2003].

- **RV para visualização dos dados:** a visualização de informação é uma técnica interativa que transforma dados abstratos em uma representação visual que possa ser compreendida por um usuário. Pode-se utilizar a visualização da informação para tarefas como identificação, consulta, exploração e comunicação [Spence, 2001].

O principal objetivo de um sistema de visualização é permitir a manipulação e o entendimento dos dados e seus relacionamentos. A complexidade dessa tarefa depende de vários fatores, como o domínio do problema, a dimensionalidade dos dados e dos tipos de relações existentes. Muitos sistemas computacionais têm buscado criar representações mais naturais aos sentidos humanos através de interfaces mais interativas, destacando-se neste intuito as técnicas de Realidade Virtual [Meiguins, 2006].

- **RV para Ensino e Treinamento:** a área educacional tem sofrido grande influência da RV devido à constante busca de novas formas que auxiliem na transmissão da informação de maneira clara, objetiva, prazerosa e que desperte o interesse do aprendiz na busca por informações [Youngblut, 1998]. Neste sentido, é importante destacar a diferença entre os conceitos de ensino e treinamento. Sistemas voltados ao ensino buscam desafiar o aprendiz a analisar e refletir sobre o foco de estudo, enquanto outros voltados ao treinamento trabalham capacidades específicas ou procedimentos de uma

determinada tarefa. Logo, educação e treinamento são aspectos diferentes do mesmo espectro e complementares, não excludentes [Hounsell, 2008].

Uma das principais vantagens da utilização de sistemas de RV como ferramentas de ensino e treinamento é a possibilidade de um aprendizado experimental e interativo, com visualização de alto nível, envolvendo o aluno em sistemas adaptáveis, colaborativos e tornando possível a avaliação das ações do aluno e a simulação de casos raros e perigosos. Tais fatores tornam a RV uma ferramenta importante de educação, notadamente nas áreas de medicina, ciências e atividades militares [Hounsell, 2008].

2.1.2 Aplicações da Realidade Virtual para Educação

A Realidade Virtual desponta na área da educação com o grande potencial de modificar e melhorar a experiência de aprendizado. Isso acontece devido à variedade de possibilidades que a RV abre para as aplicações de suporte ao ensino [Tori, 2006]. Burdea (2003) aponta que características da RV, como a habilidade de mediar a criação e a exploração de mundos virtuais e a provisão de ambientes compartilhados, tornam a RV uma ferramenta importante de auxílio ao Ensino.

Pantelidis (1995), Mantovani (2003) e Dias (2009) listam algumas vantagens que motivam a utilização da RV como uma ferramenta para proporcionar ensino, tais como a intuitividade, o aprendizado experimental e interativo, a visualização, representação e adaptabilidade, a simulação de contextos raros ou perigosos, a criação de uma experiência colaborativa e a possibilidade de avaliação das ações dos alunos. Estas diversas vantagens, associadas ao barateamento dos equipamentos e à crescente facilidade do acesso à tecnologia, fizeram com que a RV fosse aplicada em diversas áreas como ferramenta de ensino e treinamento. Dentre elas, destaca-se:

- **Educação Infantil:** um dos campos de utilização da RV voltada para o ensino é na educação infantil. Nesse caso o foco recai na apresentação, interação e na forma como a história é desenvolvida. Há o cuidado com os aspectos

pedagógicos, na intenção de criar um ambiente que desperte a curiosidade das crianças e consiga transmitir conhecimento a elas [Dias, 2009].

- **Ensino de Ciências:** o ensino tradicional das ciências encontra barreiras em situações que são de difícil visualização ou que simplesmente não podem ser vivenciadas pelos alunos por serem microscópicos ou arriscados. Nesse sentido a criação de sistemas tridimensionais suporta o ensino de ciências tornando possível a visualização e a simulação de tais procedimentos [Azevedo, 2008].
- **Educação para pessoas com necessidades especiais:** Um importante segmento de aplicação das tecnologias de RV é na educação e reabilitação de pessoas com necessidades especiais [Dias, 2009]. Neste sentido, ressalta-se a sua importância como ferramenta de inclusão social, ao passo que ela tenta prover um ambiente de ensino para as pessoas com necessidades especiais. Neste ponto destacam-se a visualização e interação como fatores importantes para que tais aplicações alcancem o objetivo esperado.
- **Ensino e Treinamento de Medicina:** áreas de saúde, como Medicina, têm se beneficiado dos avanços tecnológicos providos pela Realidade Virtual. A RV vem melhorando os procedimentos médicos de forma imediata e palpável. Ela melhora a educação médica e o treinamento de procedimentos com a criação de simulações virtuais e da utilização de dispositivos hápticos. Além disso, ela refina o aproveitamento em diagnósticos médicos, auxilia no tratamento terapêutico, dentre outros. Ela ainda promove uma melhor divisão dos recursos médicos, ligando à medicina aos avanços da tecnologia da informação [Morgan, 2003].

2.2 Realidade Virtual para o ensino de medicina

O ensino de procedimentos médicos pode ser auxiliado pelo treinamento com pacientes reais, cadáveres, animais ou modelos físicos (manequins). A Tabela 1 relaciona os aspectos positivos e negativos dessas ferramentas auxiliares para treinamento. Nela pode-se observar que, apesar de oferecer o ambiente real para a realização do procedimento, o treinamento na prática apresenta uma série de dificuldades relacionadas a custos financeiros, riscos ao paciente e falta de avaliação objetiva. O treinamento com cadáveres e animais, apesar de conseguir simular alguns aspectos anatômicos e fisiológicos enfrentam dificuldades relacionadas à disponibilidade dos animais e dos cadáveres, além de problemas éticos e econômicos associados à manutenção de laboratórios especializados. Por sua vez, o treinamento com modelos físicos, apesar de proporcionar treinamento por um número ilimitado de vezes, apresenta dificuldades principalmente relativas às limitações na representação das características táteis, fisiológicas e biomecânicas dos tecidos.

Os fatores que dificultam a utilização dos diversos métodos auxiliares propostos para o ensino e treinamento, associados à busca por treinamento mais extensivo e adequado como forma de diminuir os erros humanos na realização dos procedimentos médicos, encorajam a busca por outros métodos alternativos para auxílio ao ensino e treinamento de medicina. Neste contexto, os sistemas de RV apresentam-se como uma alternativa aos métodos tradicionais de auxílio ao ensino de medicina.

Tabela 1 - Prós e contras dos métodos auxiliares de treinamento em medicina. Adaptado de Harders (2008).

Paradigmas	Prós	Contras
Treinamento na Prática	Comportamento real do paciente, meio e ferramentas reais;	Risco ao paciente, avaliação subjetiva das habilidades, exposição limitada a casos raros, custo financeiro e de tempo adicionais, exposição do paciente;
Cadáveres	Anatomia exata, redução dos limites de tempo;	Disponibilidade dos cadáveres, alteração no comportamento dos tecidos, ausência de fisiologia, requerimento de preparação especial;
Animais	Fisiologia e anatomia <i>in vivo</i> ;	Disponibilidade de animais, problemas éticos, similaridade limitada da anatomia humana, alto custo, requerimento de laboratórios especiais;
Modelos Físicos (Manequins)	Possibilidade de treinamento repetido, efetiva recriação de habilidades de manipulação simples;	Necessita da substituição dos componentes após o treinamento, propriedades táteis e biomecânicas dos tecidos incorretas e fisiologia limitada;

Os primeiros sistemas de RV para ensino de medicina foram os atlas tridimensionais. Tais sistemas apresentam uma visualização inovadora de aspectos da anatomia e fisiologia humana. Essa inovação visual, associada à possibilidade de interação com as estruturas revolucionaram o ensino de anatomia para estudantes de medicina e para o público em geral [Székely, 1999b]. Em seguida, com a evolução do potencial de processamento dos computadores pessoais e com o desenvolvimento de novos dispositivos de interação tridimensional, começaram a ser propostos os

simuladores virtuais. Tais sistemas baseiam-se na imersão do usuário em um sistema de RV tridimensional e interativo, visando oferecer aprendizado real ao estudante [Székely, 1999b]. As vantagens advindas da utilização de simuladores virtuais incluem: a melhoria do treinamento médico, onde os erros iniciais passam a ser realizados nos modelos virtuais antes que em pacientes reais, além do fornecimento de treinamento de casos raros e não usuais, da utilização de procedimentos de certificação mais realista, utilizando-se de medidas objetivas de avaliação das habilidades do aluno [Costa, 2008]. Outra característica interessante provida pela simulação virtual é o treinamento controlado por níveis de competência de acordo com aspectos chaves de conhecimento, perícia e comportamento, bem como a possibilidade da criação de tarefas e cenários por demanda e da repetição no treinamento das perícias, o aumento na retenção e na precisão do aluno e a facilitação da transferência de experiência [Maran, 2003] [Satava, 2003] [Satava, 2003b].

A necessidade do provimento de alternativas aos métodos tradicionais de ensino de medicina está refletida na recente tendência ao estabelecimento de centros de simulações virtuais em hospitais. Apesar desse fato, a adaptação das faculdades de medicina para a inclusão de meios alternativos de treinamento ainda está em estágio incipiente, especialmente com relação ao treinamento baseado em RV [Harders, 2008]. Apesar dos avanços obtidos e da considerável quantidade de simuladores desenvolvidos para o ensino da medicina nos últimos anos, esse tipo de sistema ainda está longe de ser considerado um padrão para o auxílio do ensino de medicina.

2.3 Simuladores e o ensino de medicina

Dada a grande quantidade de simuladores com finalidades médicas existentes na literatura, algumas classificações foram propostas para organizá-los [Delingette, 2005] [Maran, 2003] [Burdea, 2003]. Neste trabalho, utiliza-se a taxonomia proposta por Kneebone (2003) como uma extensão à proposta por Satava (2001). Esta classificação divide os simuladores em três tipos: os simuladores híbridos, os simuladores baseados em modelos físicos e os simuladores baseados em computador (simuladores virtuais).

2.3.1 Simuladores baseados em modelos físicos

A simulação baseada em modelo físico foi o primeiro tipo de simulação pensada para a área médica e intenta propor treinamento em um modelo físico que representa um paciente genérico. Essas atividades, em princípio, foram organizadas por equipes de anesthesiologistas e visavam treinamento com manequins que representassem, da forma mais adequada possível, pacientes reais. Tal tipo de treinamento era realizado sem nenhum auxílio do computador e o retorno ao usuário era dado por sinais ou sons emitidos pelo modelo [Gaba, 1988].

Avanços nas tecnologias de materiais levaram à melhoras no realismo da simulação provida pelos simuladores físicos, permitindo a recriação cada vez mais aproximada dos tecidos humanos. Procedimentos ensinados por este método incluem cateterização urinária, punção venal, infusão intravenosa, e fechamento de cortes. Tais modelos ainda são úteis para prática de procedimentos cirúrgicos simples, tais quais as remoções de cistos [Kneebone, 2003].

As limitações desse método de simulação é que eles só simulam partes isoladas do corpo, tornando inviável a ilusão de uma realidade completa. Ademais, modelos inanimados são incapazes de prover medidas objetivas de desempenho, o que faz com que esse tipo de aprendizado requeira extenso suporte dos tutores responsáveis pelo treinamento [Kneebone, 2003].

2.3.2 Simuladores baseados em computador (simuladores virtuais)

Os simuladores baseados em computador (simuladores virtuais) utilizam técnicas de Realidade Virtual para a criação de sistemas tridimensionais, imersivos e interativos para a simulação de procedimentos médicos. Este tipo de simulação é um método de treinamento alternativo atrativo, especialmente pelo fato de que os avanços no poder de processamento tornaram possível a criação de simulações realistas que podem ser executadas em computadores pessoais [Kneebone, 2003].

Na definição de um sistema de simulação baseado em computador, um quesito fundamental é a complexidade do procedimento simulado. De uma forma geral, quanto mais complexo é o procedimento médico simulado mais poder de processamento ele

requer. Desta maneira, é importante que seja provida a simulação adequada do procedimento, inclusive com visualização realista do mesmo, entretanto deve-se ter precaução para que não ocorra o comprometimento da interação em tempo real.

Com os simuladores baseados em computador é possível a manipulação, o corte, a perfuração, raspagem ou a navegação pelos sistemas do corpo humano, além da utilização de dispositivos hápticos para o provimento do retorno de forças ao usuário em tempo real. Pode-se citar como exemplos de simuladores deste tipo, o simulador de coleta de medula óssea pediátrica, descrito em Machado (2003 e 2003b) (Figura 1) e o *Minimally Invasive Surgical Trainer* (MIST) que é utilizado para treinar habilidades relacionadas à realização de laparoscopias ginecológicas (Figura 2) [McCloy, 2001].

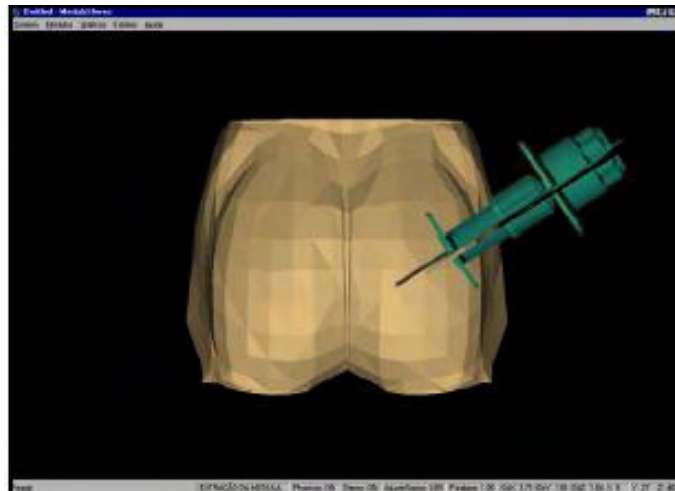


Figura 1 - Simulador de coleta de medula óssea [Machado, 2003b, pp. 53]



Figura 2 - Utilização do MIST – Minimally Invasive Surgery Training [McCloy, 2001, pp. 913]

2.3.3 Simuladores híbridos

Os simuladores híbridos combinam modelos físicos com computadores, geralmente usando uma interface real, tal como instrumentos cirúrgicos, para fazer a conexão entre o manequim e o computador. Tal método evita algumas das dificuldades técnicas associadas à reprodução do toque dos instrumentos e dos tecidos humanos, enquanto ainda permite o acesso às vantagens obtidas pela simulação via computador, tal qual a avaliação das ações do usuário. Tais sistemas híbridos estão se tornando cada vez mais importantes para que tecnologias complexas, como robôs-cirurgiões, possam ser integradas de forma efetiva no ambiente real [Kneebone, 2003].

O exemplo mais conhecido de simulador híbrido foi utilizado para a simulação de processos anestésicos [Holzman, 1995] [Gaba, 1998] [Gaba, 2001] (Figura 3). Simuladores desse tipo são complexos e caros e, atualmente, encontraram sua utilidade em grandes centros especialistas [Kneebone, 2003].



Figura 3 - ARCM Simulador Híbrido utilizado para a simulação da aplicação de anestesia em uma artroscopia no joelho. [Gaba, 2001, pp. 180]

2.4 Simuladores baseados em computador para área ginecológica

Analisando os simuladores baseados em computador especificamente na área ginecológica, foco deste trabalho, pode-se destacar os trabalhos de Gor (2003) e Székely (1999). O primeiro utiliza o simulador MIST para avaliar as habilidades psicomotoras de 21 ginecologistas formados. O sistema MIST (Figura 4) é um simulador comercial para o treinamento das habilidades necessárias para a realização de uma laparoscopia ginecológica. Os complexos movimentos que são necessários na realização de uma laparoscopia foram decompostos em tarefas específicas que são simuladas via computação gráfica, onde o usuário interage com um instrumento real em um sistema de RV. O sistema armazena os dados da interação do usuário em uma frequência de 50 Hertz, gerando dados de desempenho em relação à duração do exercício, erros cometidos e trajetória do movimento realizado. O sistema também permite analisar os desempenhos das mãos esquerda e direita separadamente. Este estudo conduzido por Gor (2003) analisa os dados da interação de 21 médicos, entre alunos e profissionais e compara os seus resultados observando a curva de aprendizado produzida pela interação com o sistema.

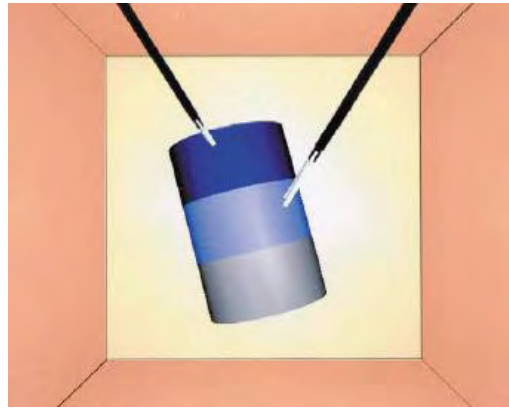


Figura 4 - Uma tarefa de duas mãos, na qual o usuário deve localizar e agarrar um tubo posicionado aleatoriamente [Gor, 2003, pp. 182]

O estudo de Székely (1999) ressalta a inexistência de um sistema definitivo para a simulação de procedimentos de endoscopias ginecológicas e define etapas que devem ser seguidas na criação desses sistemas, tais como: a construção do modelo anatômico, a modelagem gráfica da aparência do órgão, a modelagem da deformação dos tecidos, a medição da elasticidade dos tecidos (*in-vivo*), a definição ou implementação de uma ferramenta para a realização dos cálculos de colisão em tempo real e o a definição do dispositivo háptico para a manipulação dos retornos de força. No desenvolvimento deste trabalho, o autor ainda levanta questões como a utilização de equipamentos específicos para a realização dos cálculos, a realização de síntese e análise de texturas de forma automática, a definição dos parâmetros adequados de elasticidade dos tecidos, dentre outras. Ao final, Székely (1999) apresenta no trabalho um protótipo de simulador, para teste dos algoritmos implementados para a simulação de um procedimento de laparoscopia ginecológica. Esse trabalho apresenta o método de texturização, o tratamento háptico, a deformação dos tecidos e propões um *hardware* específico para a execução dos sistemas de RV (Figura 5).

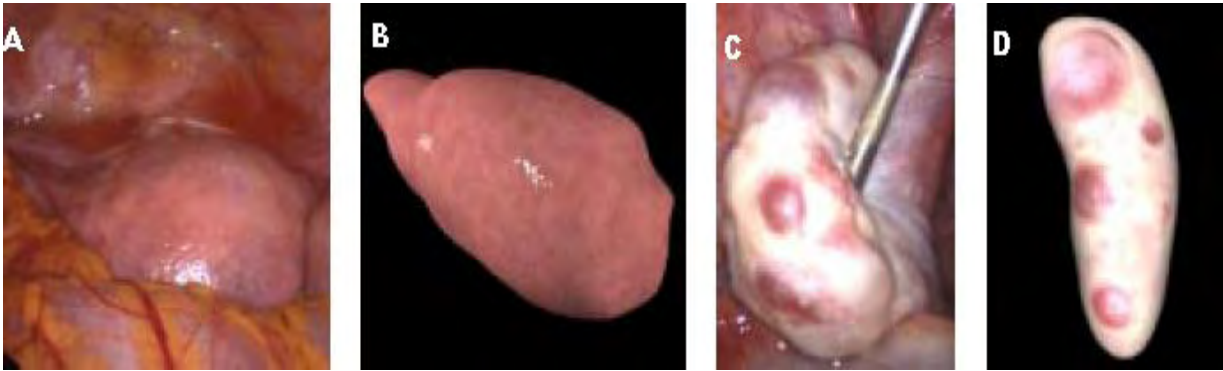


Figura 5 - Análise e Síntese da textura: (a,b) útero original e artificial, (c,d) ovário original e artificial [Székely, 1999, pp. 352]

2.5 Questões no desenvolvimento de simuladores virtuais para medicina

Um dos problemas fundamentais do desenvolvimento de simuladores virtuais para o ensino de medicina é o aspecto multidisciplinar dessas aplicações, que requer integração de áreas diversas, como visualização, modelagem biomecânica e retorno háptico. Nesta Seção são abordados alguns aspectos relacionados ao desenvolvimento de simuladores virtuais para o ensino de medicina.

2.5.1 Utilização de frameworks

A interdisciplinaridade inata dos simuladores virtuais para medicina torna desafiador o trabalho dos pesquisadores em conseguirem progressos em áreas específicas e, por muitas vezes, leva à duplicação de esforços [Allard, 2007]. Com o passar dos anos, as tecnologias para as aplicações de RV tornaram-se cada vez mais disponíveis e agregaram diversas funcionalidades. A utilização destas, fez com que se evidenciasse uma diversidade crescente de funcionalidades, ferramentas e equipamentos associados à construção de simuladores virtuais. Tais simuladores, desenvolvidos sem um padrão unificado, tornam difícil a integração e validação deste tipo de sistema [Sawyer, 2008].

Uma possível solução para as dificuldades relacionadas à duplicação de esforços e alta granularidade de sistemas e tecnologias é a utilização de *frameworks*. A definição de *framework* utilizada neste trabalho foi introduzida por Fayad (1999): “Um

framework pode ser definido como um projeto e implementação abstratos, utilizados no desenvolvimento de aplicações em um domínio de problema pré-definido, permitindo o reuso de componentes”.

Algumas tentativas de criação de *frameworks* voltados para simulação médica por RV foram propostas com o intuito de padronizar implementações e oferecer uma base comum para a criação dos simuladores virtuais. Em uma pesquisa nos anais do congresso Medicine Meets Virtual Reality, um evento mundial específico para a área de sistemas de RV aplicados à Medicina, no período de 2000 à 2010, foi possível encontrar quatro *frameworks* voltados para construção de aplicações de RV com finalidades médicas: o SPRING [Montgomery, 2002], o GiPSi [Tolga, 2004], o SOFA [Allard, 2007] e o CyberMed [Machado, 2009]. Além destes, destaca-se ainda o ViMeT, uma iniciativa nacional, assim como o CyberMed, para a criação de um *framework* para aplicações médicas de RV [Oliveira, 2006] [Oliveira, 2007].

Cada *framework* proposto, apesar de ter o mesmo objetivo, difere no método de aproximação utilizado, fazendo com que cada um tenha suas características próprias. Na Tabela 2 expuseram-se algumas das características de cada sistema analisado e os classificou-se de acordo com o tipo de licença e os suportes colaborativo, háptico e a avaliação do desempenho do usuário. Neste ponto, é importante destacar que dos cinco *frameworks* analisados, quatro (GiPSi, SOFA, ViMeT e CyberMed) são livres e possuem suporte à interação háptica que é uma funcionalidade recorrente nos sistemas de simulação virtual em medicina. Dentre os quatro *frameworks* livres, apenas dois (GiPSi e CyberMed) possuem suporte à construção de aplicações colaborativas e apenas o *framework* CyberMed possui o suporte a avaliação de desempenho do usuário (o conceito de avaliação de desempenho do usuário é discutido na Seção 2.5.3 e sua utilização no CyberMed é discutida na Seção 4.3).

Tabela 2 - Comparativo entre os frameworks analisados

<i>Framework</i>	Código Aberto	Licença	Suporte Colaborativo	Suporte Háptico	Suporte à avaliação de desempenho do usuário
GiPSi	Sim	Livre	Sim	Sim	Não
Spring	Sim	Proprietário	Sim	Sim	Não
SOFA	Sim	Livre	Não	Não	Não
ViMeT	Sim	Livre	Não	Sim	Não
CyberMed	Sim	Livre	Sim	Sim	Sim

A partir da análise dos trabalhos científicos, observa-se que o estado atual do campo da simulação médica é caracterizado por projetos de pesquisa espalhados, utilizando uma variedade de modelos, processos e ferramentas, que não são nem interoperáveis nem modelos independentemente verificáveis. Frequentemente simuladores individuais são construídos do princípio e ficam sem a validação de uma comunidade maior [Tolga, 2004]. Conclui-se ainda, que não há um *framework* estabelecido como padrão, nem mesmo que seja amplamente utilizado. A analogia com outras áreas da ciência da computação mostra que essa padronização, ainda que relativa, é possível, e proporciona uma interoperabilidade interessante entre sistemas. Conseguir tal resultado seria um avanço no sentido do desenvolvimento e da validação da simulação virtual como ferramenta de auxílio à medicina.

Para o desenvolvimento do SITEG, o CyberMed foi o *framework* escolhido para o desenvolvimento deste trabalho por ser o único que atendia a todos os requisitos do simulador (suporte à visualização tridimensional, dispositivo háptico e avaliação do usuário) e também por se tratar de um *software* livre, que é outro requisito para as ferramentas utilizadas no desenvolvimento do SITEG. Uma abordagem mais detalhada do CyberMed é realizada na Seção 3.6.1.

2.5.2 Sistemas hápticos

Sistemas hápticos referem-se aos sistemas associados com a geração e renderização tátil de objetos e ambientes tridimensionais gerados por computador. Com

sistemas deste tipo é possível a manipulação de objetos e ambientes tridimensionais através de movimentos das mãos do usuário. Esta interação ocorre mediante a utilização de um dispositivo, como uma luva, por exemplo, que rastreia a posição da mão do usuário no mundo real e atualiza o ambiente tridimensional gerado por computador. Ao interagir com um dispositivo háptico, o usuário transmite as ações motoras desejadas através da manipulação física do dispositivo. Este por sua vez, processa e exibe as informações sensoriais táteis para o usuário com medidas apropriadas para estimular a percepção de movimento tátil do seu sistema sensorial [Srinivasan, 1997].

Mouses e teclados são considerados dispositivos hápticos simples. Dispositivos mais modernos são as luvas de dados e os exoesqueletos. Uma classificação muito utilizada divide os dispositivos hápticos entre os de base fixa e os corporais. *Joysticks* com retorno de força são exemplos de dispositivos de base fixa, enquanto exoesqueletos e luvas de dados são dispositivos corporais (Figura 6). Uma vantagem associada aos dispositivos corporais é o fato de que a sua cinemática corresponde à dos movimentos humanos. Entretanto, este tipo de dispositivo requer que o usuário vista e carregue o dispositivo, o que pode interferir na sua interação com os objetos virtuais e lhe causar fadiga. Outro fator negativo com respeito aos dispositivos corporais reside no fato de que os mesmos não comunicam o retorno de forças ao usuário. Por estes motivos os melhores desempenhos em sistemas hápticos são atingidos com a utilização de dispositivos de base fixa que possuem retorno de forças, como o dispositivo Phantom Omni (Figura 6c) [Srinivasan, 1997].

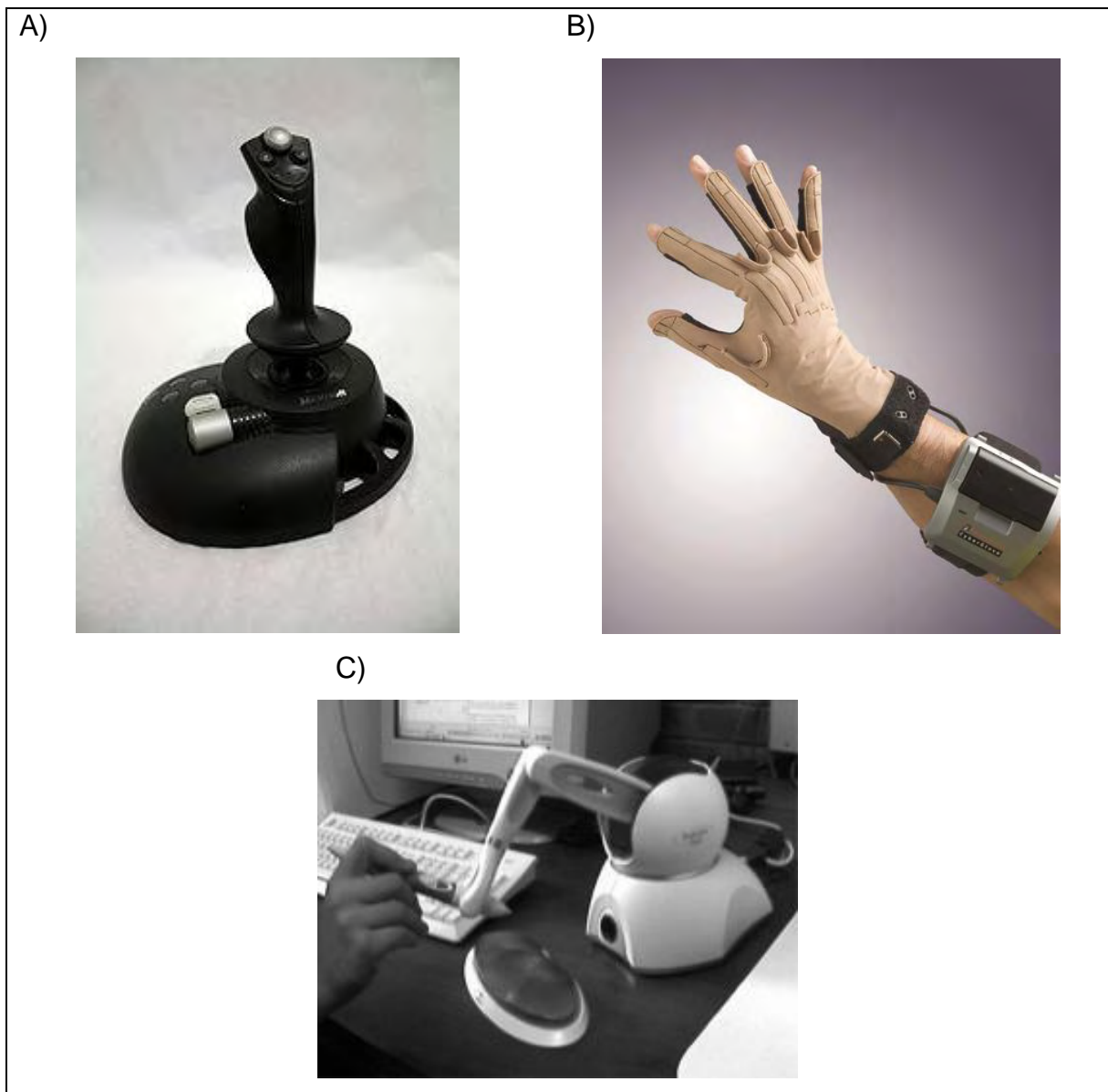


Figura 6 - Dispositivos hápticos. a) Joystick com retorno de força [Microsoft, 2010], b) Luva de dados [CyberGlove, 2010] e c) Dispositivo háptico de base fixa e com retorno de força Phantom Omni.

Os primeiros trabalhos de pesquisa no campo dos sistemas hápticos eram voltados à telerobótica e visavam permitir ao usuário sentir forças aplicadas em robôs remotos. Com os avanços dos sistemas computacionais, as pesquisas voltaram-se para a inclusão dos dispositivos hápticos como forma de aumentar o realismo e a interatividade em sistemas de Realidade Virtual [Edwards, 2004]. No contexto das simulações virtuais para ensino de medicina, os sistemas hápticos são focos de várias

pesquisas, principalmente pelo seu potencial de simulação de procedimentos cirúrgicos. Neste contexto, sistemas hápticos foram utilizados para a realização de procedimentos de palpação e na representação de ferramentas para a realização de procedimentos como: punção, corte, suturas, dentre outros [Holland, 2004] [Farber, 2009] [Ruthenbeck, 2008]. Na Figura 7 pode-se observar exemplos de simuladores virtuais que utilizam algum tipo de dispositivo háptico.

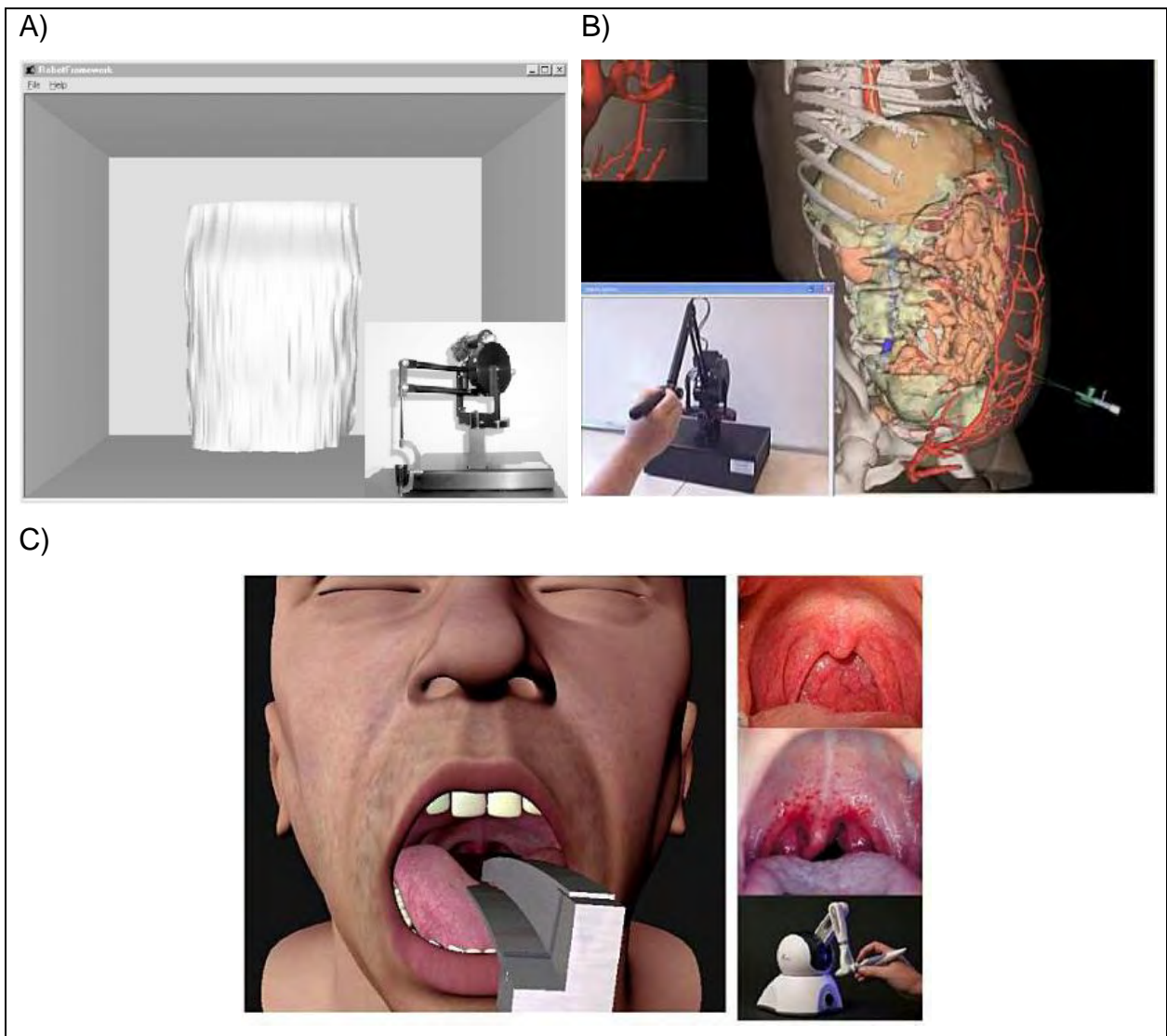


Figura 7 - Simuladores virtuais para medicina e seus dispositivos hápticos associados. a) Simulador de palpação Virtual Haptic Back [Holland, 2004, pp. 91], b) Simulador de punção anestésica [Farber, 2009, pp. 93] e c) Simulador de patologias da garganta [Ruthenbeck, 2008, pp. 434].

Com a crescente introdução dos dispositivos hápticos nos simuladores virtuais para medicina, cresceu a necessidade da avaliação efetiva do desempenho dos sistemas hápticos nesse tipo de simuladores. Sewell (2007) avaliou dois grupos de estudantes de medicina – um com treinamento prévio em um simulador virtual com dispositivo háptico e o outro sem este treinamento - na realização de um procedimento de perfuração. Os resultados atingidos mostraram que, apesar de inferior ao treinamento real, o treinamento simulado melhora o desempenho do profissional quando do primeiro contato com a situação real. Williams (2004) criou um modo de reprodução com o dispositivo háptico, no qual o estudante de medicina realiza um exame de palpação guiado pela interação pré-gravada de um profissional. Os resultados mostraram que os usuários que tiveram a experiência do treinamento háptico apresentaram um desempenho superior na realização do procedimento real em relação aqueles que não tiveram o treinamento.

Apesar da verificação da eficiência da utilização de dispositivos hápticos em simuladores para medicina, há uma série de desafios técnicos na criação de simulações hápticas realistas. Dentre eles, destacam-se: o alto custo financeiro dos dispositivos, as limitações associadas à tecnologia disponível, as dificuldades relacionadas à integração de interações hápticas realistas com as características físicas do procedimento simulado e o controle da dinâmica do retorno de força dos dispositivos [Edwards, 2004].

De uma forma geral, a introdução dos dispositivos hápticos nos simuladores virtuais permitiu a simulação de procedimentos que envolvem o toque e a manipulação dos organismos através de instrumentos. Apesar da existência de desafios técnicos na criação de simulações hápticas realistas, os recentes avanços nos equipamentos eletromecânicos e no poder de processamento dos computadores, indicam um futuro promissor no sentido da superação destes desafios. Outra questão relevante que pode ser observada na utilização de dispositivos hápticos em simulações virtuais para medicina é o fato de que tais sistemas requerem uma colaboração próxima entre profissionais de saúde e de tecnologia, para a adequada modelagem das propriedades biomecânicas das estruturas simuladas [Basdogan, 2004].

2.5.3 Avaliação da interação do usuário

Como citado na Seção 2.2, a avaliação das ações do usuário é uma das vantagens fornecidas pelos sistemas de RV para ensino e treinamento. A possibilidade de monitorar as ações que o usuário faz no sistema torna-se fundamental, pelo fato das ações do usuário corresponderem ao que ele compreende no mundo virtual. Isto permite o uso de informações de interação para fins diversos que variam desde a quantificação da compreensão, à usabilidade e à avaliação do usuário na realização de um procedimento [Sharabi, 2007]. Tal monitoramento das ações do usuário em um sistema de RV é provido por algum tipo de método de avaliação.

Os métodos de avaliação podem ser caracterizados como *off-line* ou *on-line*. Um método de avaliação é caracterizado como *on-line* quando um sistema de avaliação está acoplado ao simulador virtual e oferece ao usuário uma resposta rápida, com tempo imperceptível para quem opera o sistema, assim que o treinamento termina. Por outro lado, em um método de avaliação *off-line* o sistema de avaliação pode, ou não, estar acoplado ao simulador virtual e a classificação do treinamento pode esperar por algum tempo, significativo na percepção do usuário. Por razões didáticas, torna-se preferível o uso de sistemas de avaliação *on-line*, visto que o usuário deverá ter a resposta do treinamento realizado assim que este for terminado. Isto se torna necessário para que o usuário lembre-se dos passos que executou na simulação, dando-lhe condições de tentar realizar novamente a simulação sabendo a qualificação das ações realizadas nos treinamentos anteriores [Moraes, 2002].

No contexto dos simuladores baseados em RV para treinamento e ensino de procedimentos médicos, o sistema de avaliação funciona de forma independente e simultânea ao simulador virtual. Desta forma, o desempenho geral da simulação deve ser pensado de forma a ser possível que esse sistema como um todo funcione em tempo real [Burdea, 2003]. Uma vez que o sistema de avaliação deve obedecer à importante restrição de não comprometer a simulação e o realismo da simulação, a pesquisa por sistemas de avaliação para treinamentos complexos, nos quais é necessário o monitoramento de um grande número de variáveis simultaneamente, é dependente de quatro fatores: a) complexidade computacional do sistema de RV; b)

complexidade computacional do método de avaliação; c) eficiência do método, uma vez validado seus modelos para problemas específicos e d) o sistema computacional disponível para executar o meio virtual para treinamento e o sistema de avaliação. O equilíbrio desses quatro fatores não é de fácil solução. Meios de simulação muito realistas demandam tanto altos custos computacionais, quanto interação com dispositivos hápticos e utilização de modelos deformáveis. Tais requisitos têm prioridade superior em relação a outros subsistemas, como a avaliação. A solução é a utilização de métodos de baixo custo computacional para a avaliação [Moraes, 2009b].

Uma arquitetura genérica de um sistema de avaliação para estudo e treinamento baseado em RV pode ser observada na Figura 8 [Moraes, 2003]. A análise desta arquitetura mostra que o sistema de avaliação é um sistema independente que funciona de forma paralela ao simulador virtual. O sistema de avaliação recebe como entrada os dados resultantes da interação do usuário com os vários módulos do simulador virtual. Estes dados são monitorados durante todo o treinamento realizado pelo usuário e, ao fim da interação, é emitido um relatório ao usuário indicando o resultado da sua avaliação.

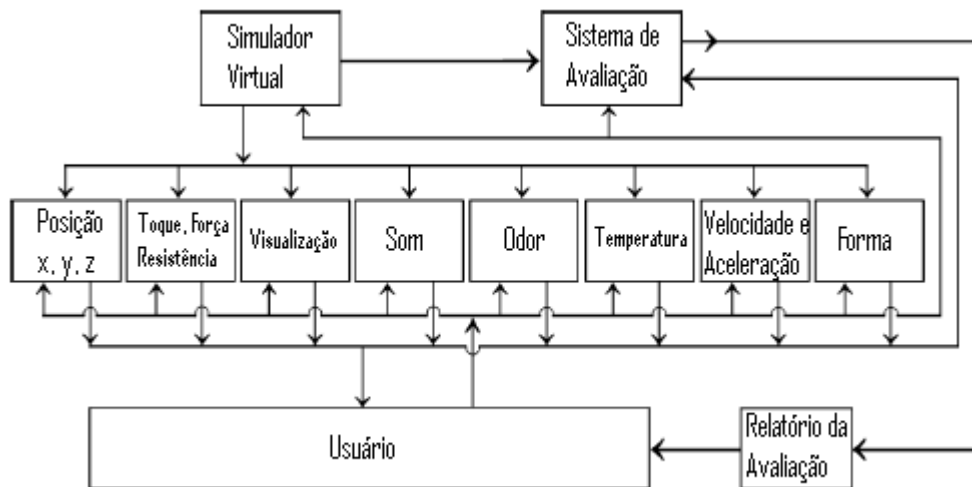


Figura 8 - Arquitetura Genérica de um Sistema de Avaliação para Treinamento Baseado em RV [Moraes, 2003]

Os primeiros trabalhos detalhando a avaliação do treinamento em simuladores virtuais para medicina datam do final da década de noventa. Neste contexto foram propostas diversas metodologias para sistemas de avaliação, como: comparação simples, observação de vídeos, lógica *fuzzy*, modelos de Markov, máxima verossimilhança, redes bayesianas, redes possibilistas ou métodos estatísticos *fuzzy*.

Um dos primeiros trabalhos detalhando a avaliação do treinamento em simuladores virtuais para medicina propunha a avaliação da interação do usuário em um simulador de exame de próstata pela comparação do resultado final da interação com um resultado esperado (avaliação *off-line*) [Burdea, 1998]. Outro exemplo pode ser visto em Kumagai (2007), no qual foi proposto um sistema de avaliação baseado na medição de forças aplicadas durante um procedimento de endoscopia. A avaliação no sistema de Kumagai é feita de forma *off-line* através da observação do vídeo da interação dos usuários com o sistema e dos dados de força gerados no relatório do sistema.

Recentemente podem-se encontrar alguns trabalhos detalhando metodologias para sistemas de avaliação *on-line*. Huang (2005) propôs a utilização de lógica *fuzzy* para a classificação da interação de um usuário no simulador MIST⁶. De acordo com a proposta de Huang, a classificação é feita de forma *on-line* e o usuário pode ser classificado como novato, intermediário ou avançado. Mackel (2006) propõe uma metodologia genérica baseada em modelos de Markov para a classificação *on-line* do nível de habilidade na realização de um procedimento médico de qualquer tipo. Moraes propôs vários métodos para a realização de avaliação *on-line* em simuladores virtuais de procedimentos médicos, utilizando: modelos de Markov [Moraes, 2002], máxima verossimilhança [Moraes, 2005], redes bayesianas [Moraes, 2007], redes possibilistas [Moraes, 2009b] e métodos estatísticos *fuzzy* [Moraes, 2004] [Moraes, 2008] e [Moraes, 2009]. Machado (2001) propôs a utilização de um sistema de avaliação *on-line* baseados em lógica *fuzzy* acoplado a um simulador virtual de coleta de medula óssea. Machado também propôs uma metodologia embasada em sistemas especialistas baseados em lógica *fuzzy* para um sistema de avaliação *on-line* acoplado a um

⁶ O simulador MIST foi detalhado na Seção 2.5.

simulador virtual de exame ginecológico [Machado, 2006c]. O sistema de avaliação proposto neste trabalho de Machado embasou o desenvolvimento do sistema de avaliação desenvolvido neste trabalho, detalhado na Seção 3.5.3.

Os principais problemas associados aos sistemas de avaliação *on-line* aplicados a sistemas de RV são a complexidade e a acurácia. Um sistema de avaliação *on-line* deve ter uma baixa complexidade computacional para não comprometer o desempenho do simulador virtual, mas também deve ser acurado para não comprometer a avaliação do usuário [Moraes, 2009].

2.6 Considerações

Neste Capítulo foram realizados estudos acerca da utilização da RV com a educação, especificando o ensino e treinamento de procedimentos médicos. Ainda foram descritos dois trabalhos relacionados à simulação da realização do procedimento minimamente invasivo de laparoscopia ginecológica [Székely, 1999] [Gor, 2003]. No entanto, estes trabalhos não forneciam o desenvolvimento de um sistema de simulação completo, já que Gor (2003) buscou recriar os movimentos de uma laparoscopia ginecológica no simulador MIST e Székely (1999) apresentou apenas um protótipo de sistema. Ressalta-se ainda o fato de não ter sido encontrado na literatura algum trabalho que simule o procedimento de exame ginecológico descrito neste trabalho.

Acerca dos sistemas de avaliação das ações do usuário, foram detalhados os conceitos básicos, como: a arquitetura de um sistema de avaliação genérico, a classificação dos sistemas de avaliação de acordo com o tempo de resposta ao usuário e algumas metodologias que tem surgido nos últimos anos para a utilização de sistemas de avaliação acoplados a simuladores virtuais de medicina. Pelo fato destas metodologias ainda serem recentes, a utilização de sistemas de avaliação acoplados a simuladores virtuais para procedimentos de medicina não são comuns e ainda requerem validação sobre a sua eficácia.

No Capítulo seguinte é detalhado um simulador virtual para o ensino e treinamento em exame ginecológico. Assim, os conceitos abordados neste Capítulo,

bem como os estudos acerca das aplicações recentes da área são essenciais na análise crítica do sistema proposto.

3

Sistema Interativo para Treinamento e Ensino Ginecológico (SITEG)

O objetivo deste Capítulo é apresentar a o Sistema Interativo para Treinamento em Exame Ginecológico, o SITEG. Pretende-se com este sistema oferecer uma ferramenta de treinamento para a identificação de doenças relacionadas ao colo do útero. Com este intuito, são apresentados conceitos para o entendimento do exame ginecológico e das patologias detectadas por esse exame. São apresentadas ainda as ferramentas e tecnologias que foram utilizadas no desenvolvimento do sistema, bem como é detalhado o projeto do sistema, com a delimitação do seu escopo e arquitetura.

As definições apresentados neste Capítulo surgiram nas fases de concepção e projeto do sistema. É importante detalhar que durante estas fases teve-se o auxílio de uma especialista no exame ginecológico, formada em Medicina.

3.1 Exame ginecológico

O exame ginecológico é um dos mais importantes exames para a saúde da mulher e tem reduzido significativamente o número de mortes por câncer desde o início da sua utilização. Através deste exame, é possível a detecção de alterações nas estruturas ginecológicas femininas que indicam a presença de doenças ou o risco da paciente vir a desenvolver câncer [Cotran, 2000].

É estimado que uma redução de cerca de 80% da mortalidade por câncer de colo de útero pode ser alcançada através do rastreamento de mulheres na faixa etária de 25 a 65 anos com o exame ginecológico e tratamento das lesões precursoras com alto potencial de malignidade. Contudo, fatores sociais, culturais, econômicos e a falta de informação fazem com que muitas mulheres não se submetam ao exame regularmente [INCA, 2009].

3.1.1 O câncer de colo do útero

Segundo dados do INCA estima-se que o número de casos novos de câncer do colo do útero esperado para o Brasil no ano de 2010 será de 18.430, com um risco estimado de 18 casos a cada 100 mil mulheres (Tabela 3) [INCA 2009]. A observação dos dados da Tabela 3 indica que, excluindo-se os dados relativos ao câncer de pele do tipo não-melanoma, no ano de 2010 o câncer de colo do útero corresponderá à 9,5% de

todos os casos de câncer observados em mulheres, ficando atrás apenas do câncer de mama que corresponderá à 25,5% de todos os casos de câncer.

Tabela 3 - Estimativas para o ano de 2010 das taxas brutas de incidência por 100 mil e de números de casos novo por câncer, em mulheres, segundo localização primária [INCA, 2010].

Localização primária da neoplasia maligna	Estimativas de casos novos	
	Casos	Taxa Bruta
Mama feminina	49.240	49,27
Colo do útero	18.430	18,47
Colon e reto	14.800	14,80
Traquéia, brônquio e pulmão	9.830	9,82
Estômago	7.680	7,70
Leucemias	4.340	4,33
Cavidade oral	3.790	3,76
Pele melanoma	2.970	2,92
Esôfago	2.740	2,69
Outras localizações	78.770	78,83
Subtotal	192.590	192,74
Pele Não Melanoma	60.440	60,51
Todas as neoplasias	253.030	253,23

O câncer do colo do útero é o segundo tipo de câncer mais frequente entre as mulheres, com aproximadamente 500 mil casos novos por ano no mundo, sendo responsável pelo óbito de, aproximadamente, 230 mil mulheres por ano. A incidência de câncer do colo do útero evidencia-se na faixa etária de 20 a 29 anos e o risco aumenta rapidamente até atingir seu pico, geralmente na faixa etária de 45 a 49 anos. Ao mesmo tempo, com exceção do câncer de pele, é o câncer que apresenta maior potencial de prevenção e cura quando diagnosticado precocemente. Estima-se ainda que este tipo de câncer seja a quarta causa de morte por câncer em mulheres [Caetano, 2005].

3.1.2 Herpes e HPV

O herpes genital é uma infecção viral comum, causada pelo Vírus do Herpes Simples (HSV). Existem dois tipos deste vírus: o Herpes vírus tipo I e o Herpes vírus tipo II. Além da região genital, o vírus pode infectar o ânus, as nádegas, a parte superior das coxas, a boca, os lábios ou a face [Porto, 2001]. Já o HPV (Human Papiloma Virus), que apresenta uma família de vírus com mais de 80 tipos, se trata de uma infecção

adquirida através de contato sexual, instala-se na pele e nas mucosas genitais tais como vulva, vagina, colo do útero e pênis. Nos órgãos genitais, existem duas formas de manifestação clínica: as verrugas genitais que aparecem na vagina, colo do útero, pênis e ânus; e outra forma, que é microscópica, que aparece no pênis, vagina e colo de útero. Na vulva, o HPV causa a doença chamada condiloma genital [Bastos, 1998].

Sabe-se hoje que, para o desenvolvimento da lesão intraepitelial de alto grau e do câncer invasivo do colo do útero, o HPV é condição necessária; porém, por si só, não é uma causa suficiente, uma vez que, para o desenvolvimento, manutenção e progressão das lesões intraepiteliais, faz-se necessária, além da persistência do HPV, a sua associação com outros fatores de risco. Aproximadamente todos os casos de câncer do colo do útero são causados por um dos 13 tipos do HPV atualmente reconhecidos como oncogênicos pela Agência Internacional para Pesquisa em Câncer. Destes, os tipos mais comuns são o HPV16 e o HPV18. Outros fatores que contribuem para a etiologia desse tumor são o tabagismo, multiplicidade de parceiros sexuais, uso de contraceptivos orais, multiparidade, baixa ingestão de vitaminas, iniciação sexual precoce e coinfeção por agentes infecciosos como o Vírus da Imunodeficiência Humana (HIV) [INCA 2009].

A utilização de métodos de rastreamento, como testes de detecção do DNA do HPV e inspeção visual do colo do útero, utilizando ácido acético e lugol, associados a exames laboratoriais são apontados, em vários estudos, como eficazes na redução das taxas de mortalidade por câncer do colo do útero [INCA 2009].

3.1.3 Procedimento real

O exame ginecológico pode ser dividido em cinco etapas: anamnese, exame de mama, exame do abdômen e exame dos órgãos genitais externos e internos. Pode-se observar na Figura 9 uma visão geral do procedimento de exame ginecológico.

Exame Ginecológico

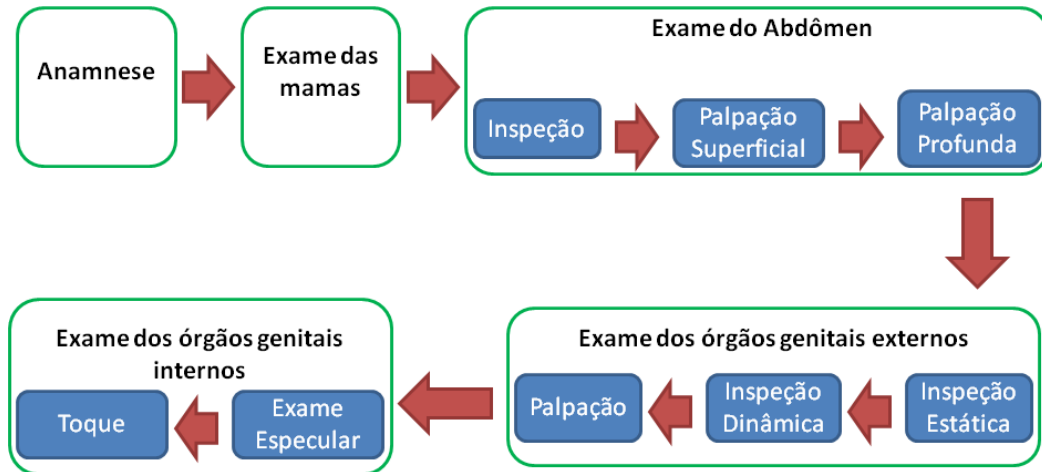


Figura 9 - Visão geral sequenciada dos procedimentos de um exame ginecológico.

A anamnese é a coleta de dados realizada com a paciente. Nesta etapa é feita a identificação da paciente (idade, sexo, número de filhos) e são investigados a queixa da paciente e seu histórico (antecedentes de doenças pessoais, familiares, sociais). Após a realização da anamnese, as próximas quatro etapas (exame de mama, exame do abdômen e exame dos órgãos genitais externos e internos) envolvem o exame físico da paciente. Este pode ser feito mediante dois mecanismos, a inspeção (visualização das estruturas, onde o médico procura alterações visíveis) e a palpação (busca de informações através do contato, onde o médico toca a paciente com uma ou duas mãos).

Após a anamnese, os dois próximos procedimentos são o exame de mama e o exame abdominal. O exame de mama visa à identificação de nódulos e é realizado através da observação das mamas em relação à simetria, formato e cicatrizes [Baracat 2004]. No exame abdominal é realizada a inspeção do abdômen (para a descrição da distribuição do tecido gorduroso e a presença de cicatrizes, dentre outras características), a palpação superficial (para a identificação de alguma região dolorida) e a palpação profunda (realizada na região mais próxima ao ovário e útero com finalidade de procurar de tumores ginecológicos e verificação de fígado e baço nos hipocôndrios).

O próximo passo no exame ginecológico é o exame dos órgãos genitais externos da paciente. Nele é realizada a inspeção estática da genitália externa (onde o médico estuda a distribuição dos pêlos, formações labiais e vestibulares), a inspeção dinâmica da genitália externa (onde se solicita que a paciente faça um esforço, como tossir, para pesquisar alterações anatômicas, por exemplo) e a palpação do ânus (para averiguação dos músculos levantadores do ânus).

O último passo do exame ginecológico é o exame dos órgãos genitais internos da paciente, onde são executadas as etapas de exame especular e tátil. No exame especular, observa-se as paredes vaginais, o conteúdo vaginal e as características do colo do útero. A visualização do colo do útero pode demonstrar sinais que são considerados normais, como a presença de cistos de Naboth (pequenos cistos que se formam mediante variações hormonais naturais na mulher) e a possibilidade de visualização da junção escamo-colunar (JEC), ou outros sinais que indicam a presença de patologias, como a presença de áreas acetobranças (indicadoras de leucoplasias), vermelhidão (indicadora de colpíte) ou formações verrucosas (indicadoras de condiloma). Nesta parte da consulta, o médico pode aplicar ácido acético e iodo para realçar eventuais lesões [Baracat, 2004]. Outra finalidade deste exame, além de inspecionar eventuais lesões aparentes, é a coleta de material para exames citológico, bacteriológico e de muco cervical. Neste ponto deve ser recolhida uma amostra de material do muco do colo do útero para análise laboratorial. O toque deve ser bimanual (ou seja, utilizando os dedos indicador e médio) observando as características da vagina, a rugosidade, a elasticidade e a presença de tumores. No toque ainda deve ser analisado o colo (descrevendo tamanho e consistência), o corpo do útero e anexos [Camargos, 2008].

Finalizada a investigação através do exame ginecológico o médico pode sugerir uma interação medicamentosa, no caso de paciente sintomática, solicitar a colposcopia (exame de imagem mais detalhado) ou biópsia (para diferenciação de carcinoma), ou efetuar a coleta de material para testes mais sofisticados (para a identificação de eventuais vírus) ou para cultura de bactérias.

3.2 SITEG

A realização do exame ginecológico possui uma série de particularidades que dificultam seu treinamento nas universidades. Um exemplo bastante evidente destas dificuldades está relacionado ao constrangimento da paciente principalmente em hospitais universitários, onde os exames são realizados às vistas de estudantes. Outra dificuldade reside no fato de que, apesar da disponibilidade de fotografias de patologias diversas, a conclusão obtida pelo médico necessita de uma combinação entre a impressão visual e a impressão tátil da paciente. Neste caso, a única forma de treinamento é através da experimentação em pacientes reais. Outro fator que dificulta o aprendizado por parte dos alunos é a falta de oportunidade que muitas vezes os estudantes enfrentam de entrar em contato com todos os tipos de patologias existentes e seus estágios, levando-os a não realizarem o treinamento adequado para identificar tais patologias.

O desenvolvimento de um sistema baseado em RV com finalidade de simular este tipo de exame elimina a falta de oportunidade de contato por parte dos estudantes com certas patologias mais raras e seus estágios, introduz a possibilidade da realização de quantos treinamentos forem necessários, proporciona a criação de um sistema de aprendizado que não envolve riscos ao paciente ou problemas éticos associados à utilização de cobaias e ainda possibilita a realização da avaliação da interação do usuário, inclusive com a possibilidade da emissão de relatório de avaliação sobre a interação.

Neste contexto, o SITEG - Sistema Interativo para Treinamento em Exame Ginecológico - é um sistema baseado em RV voltado à simulação da realização do exame ginecológico. Este sistema tem como finalidade prover uma simulação para estudo e treinamento nas várias etapas da realização do exame ginecológico. Para tanto, o sistema fornece um ambiente tridimensional interativo onde o usuário possa realizar estudos, simular um treinamento e ser avaliado na execução do exame ginecológico.

A concepção de um sistema deste tipo passa pela importante fase de delimitação do escopo do sistema. Esta é uma questão fundamental, visto que o sistema deve obedecer à restrição imposta por um nível aceitável de complexidade computacional, ao passo que deve também fornecer situações simuladas suficientes para a transmissão de conhecimento para o aluno-usuário. Neste sentido, decidiu-se que a simulação no SITEG deve prover ao usuário as seguintes fases do exame ginecológico: anamnese, a inspeção estática dos órgãos genitais externos e o exame interativo completo dos órgãos genitais internos. As etapas do exame ginecológico que são simuladas no SITEG podem ser observadas na Figura 10.



Figura 10 - Etapas do exame ginecológico simuladas no SITEG.

Outra questão concernente à definição do escopo do sistema deu-se em relação às patologias que serão simuladas. Existem várias doenças que podem ser observadas no exame ginecológico, apresentando características e sintomas diversos. A simulação de todos os casos é inviável, principalmente pela restrição de tempo de desenvolvimento do sistema. Desta forma, escolheu-se HPV e Herpes como doenças a serem representadas nas simulações. Essa escolha deveu-se ao fato dos vírus causadores dessas patologias serem relatados por profissionais como comumente encontrados e cuja ocorrência está ligada ao câncer de colo do útero. Estas patologias são apresentadas na simulação em diferentes estágios, permitindo ao estudante usuário do sistema conhecer e experimentar várias situações e seus estágios de ocorrência.

É importante ressaltar que as duas patologias escolhidas possuem uma série de sinais associados a elas como inflamações, sangramentos, corrimentos, formação de

bolhas, úlceras e verrugas. Neste caso, foram definidas as situações que são tratadas pelo SITEG para as patologias tratadas. Para o Herpes a situação é a presença de bolhas ou úlceras, enquanto que para o HPV as situações são: colpíte (inflamação), leucoplasia (áreas acetobranças) e condiloma (formações verrucosas). Há ainda situações que não indicam patologias, como os cistos de Naboth, JEC visível e JEC invisível que dependem do caso específico de cada paciente. Na Tabela 4 podem ser observadas as situações que são simuladas no SITEG e o número de casos de cada situação.

Tabela 4 - Situações simuladas e número de casos de cada situação do SITEG.

Condição	Situação	Nº de Casos
Saudável	JEC Visível	18
	JEC Invisível	12
	Cistos de Naboth	12
HPV	Leucoplasia	24
	Condiloma	24
	Colpíte	24
Herpes	Vaginal	6
	Total	120

O SITEG oferece ainda a funcionalidade do monitoramento e avaliação das ações do usuário para o provimento de uma classificação do seu treinamento. Esta classificação visa oferecer ao usuário um posicionamento objetivo quanto ao seu aprendizado e apontar possíveis erros.

3.3 Projeto do sistema

Uma vez finalizada a definição do sistema, foram elaborados documentos para a descrição do projeto do mesmo. Estes documentos nortearam o desenvolvimento do sistema de acordo com as visões de casos de uso e arquitetural.

3.3.1 Visão de casos de uso

Do ponto de vista do usuário é possível o acesso a funcionalidades do sistema, como: a escolha de casos, a realização das etapas visual e tátil do exame ginecológico, a realização da coleta de material, a indicação de conduta adequada e a obtenção de relatório de avaliação do usuário. Na Figura 11 pode-se observar as funcionalidades do SITEG relacionadas em um diagrama de casos de uso.

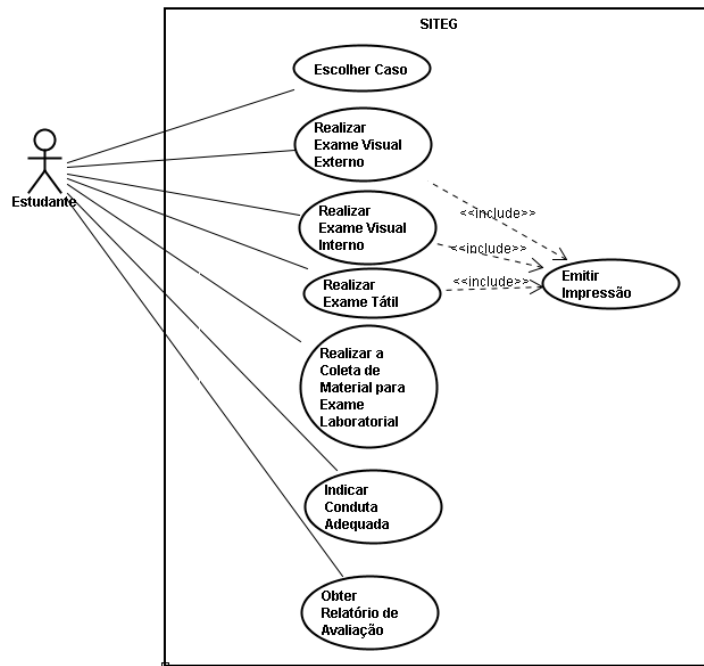


Figura 11 - Diagrama de casos de uso do SITEG

É importante ressaltar que certas funcionalidades do sistema, como a obtenção de relatório de avaliação, estão ligadas à emissão de impressões por parte do usuário. Para tanto, é requisitado ao usuário que escolha uma ou mais opções dentro de um menu que represente(m) a(s) sua(s) impressão(ões) do que está sendo visualizado em determinada etapa.

3.3.2 Visão arquitetural

Na Figura 12, pode-se observar a visão arquitetural do SITEG. Nela pode-se observar a divisão do sistema em módulos e o detalhamento de suas relações e os

fluxos de informações.

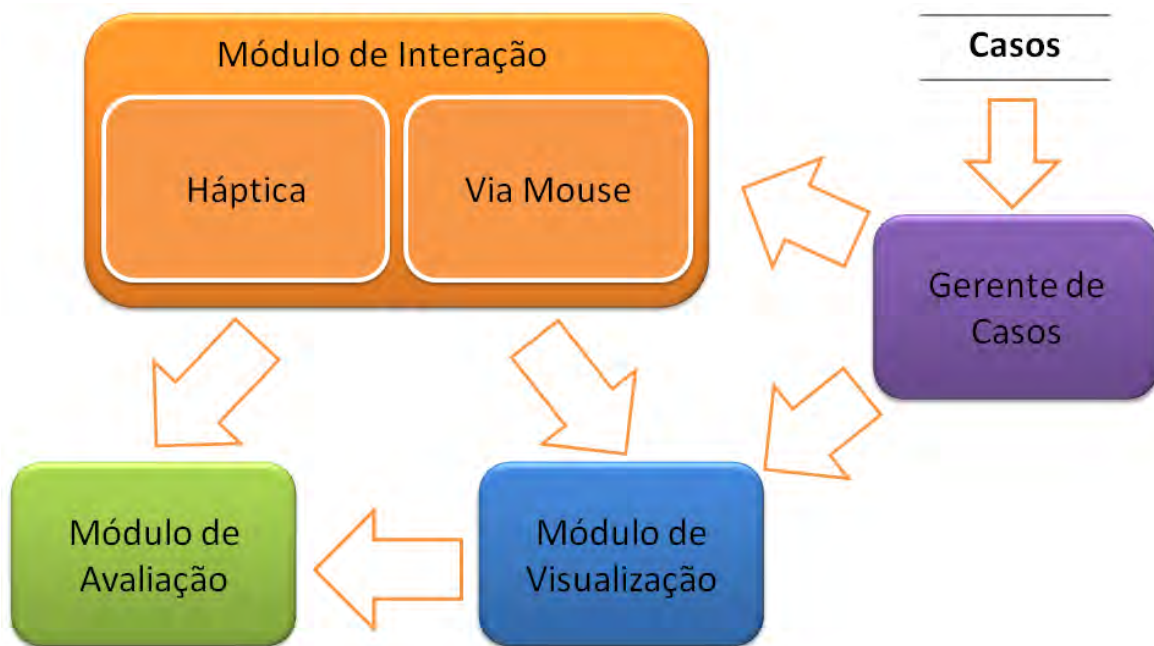


Figura 12 – Visão arquitetural do SITEG.

O módulo de interação é dividido em dois submódulos: o submódulo de interação háptica e o submódulo de interação via *mouse*. O primeiro observa o provimento de propriedades táteis, como atrito, elasticidade e viscosidade, ao ambiente tridimensional do sistema. Este módulo é acionado sempre que há a interação com o dispositivo háptico, tanto na fase de coleta do material para a realização do exame citológico, como na realização da palpação do colo do útero e do canal vaginal. O segundo é responsável pela criação de menus do sistema e pelo gerenciamento do comportamento do mouse do sistema nos ambientes bi ou tridimensionais.

O módulo de visualização é responsável pelo gerenciamento de todo o conteúdo visual, bidimensional ou tridimensional do sistema. Neste módulo são gerenciados os modelos tridimensionais utilizados no sistema, bem como as texturas aplicadas e os parâmetros de iluminação e coloração da cena gráfica.

Os módulos de interação e visualização recebem parâmetros do módulo gerente de casos. Este módulo acessa a base de casos do sistema e escolhe um caso,

aleatoriamente ou a comando do usuário. Em seguida os parâmetros associados ao caso escolhido são repassados para o módulo de visualização e para o módulo de interação.

O módulo de avaliação detalha o sistema de avaliação utilizado no SITEG. Este módulo é responsável por supervisionar os movimentos do usuário e outros parâmetros associados a eles para a elaboração de um relatório da interação que é exibido ao usuário após o fim da interação. Ele ainda armazena informações relevantes acerca do exame durante suas várias etapas e também observa as interações do usuário com o sistema para discernir as razões que motivaram a sua conclusão acerca da etapa realizada. A avaliação da interação do usuário é realizada de acordo com o caso apresentado pelo sistema.

3.3.3 Modos de operação do SITEG

O acesso do usuário às funcionalidades do sistema é restrito pelos modos de operação do sistema. O SITEG possui três modos de operação: o modo estudo, o modo apresentação e o modo treinamento. Estes modos de operação foram concebidos para determinar a forma como o usuário se relaciona com o sistema, definindo quais operações estão disponíveis e que ações são possíveis de se realizar em cada momento. É permitido ao usuário mudar livremente entre os modos de operação, o que causa mudanças na apresentação visual do sistema e nas funcionalidades oferecidas ao usuário. Na Figura 13 pode-se observar a relação entre os modos de operação e a visão arquitetural do sistema (detalhada na Seção 3.3.2).

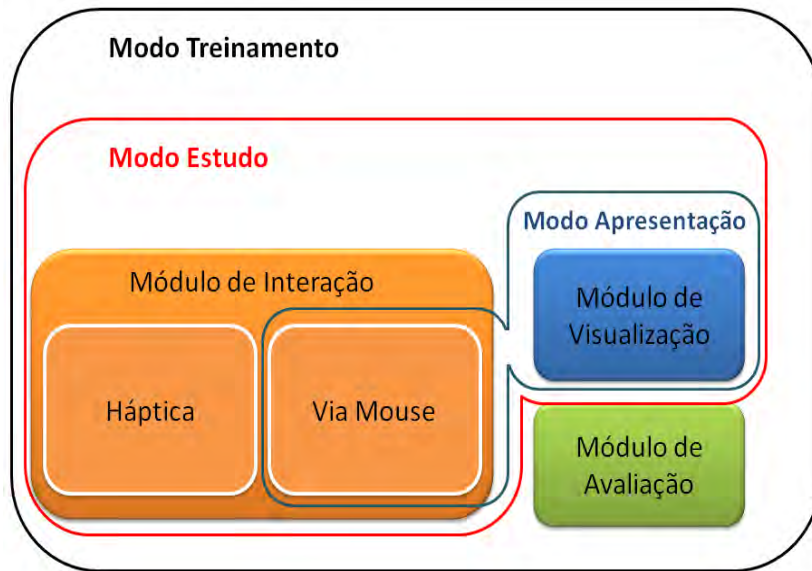


Figura 13 - Relação entre os modos de operação e a visão arquitetural do sistema.

O **modo apresentação** é o modo inicial e o primeiro contato do usuário com o sistema. Neste modo são apresentadas as estruturas e ferramentas que são manuseadas durante a utilização do sistema. É possível ao usuário a visualização de imagens com representações frontal e lateral da realização do exame e a manipulação de modelos tridimensionais do espécuro e da haste flexível utilizados no exame.

O **modo treinamento** simula uma situação real da realização de um exame ginecológico. Neste modo o próprio sistema escolhe um caso aleatoriamente, cabendo ao usuário a correta identificação de cada situação.

Inicialmente, o usuário observa o texto que representa as informações retiradas da anamnese com a paciente e visualiza a genitália externa feminina, onde ele deve atentar à presença de ulcerações, protuberâncias e alterações de qualquer tipo. Finalizada a visualização é solicitado que o usuário emita uma opinião entre as possibilidades: saudável, presença de bolhas ou presença de úlceras.

Em seguida o usuário pode solicitar a introdução do espécuro para visualização das paredes do colo do útero. Neste momento o sistema habilita o dispositivo de interação háptica para que o usuário possa manipular a haste flexível para coleta de células do colo uterino. Após a finalização da coleta, o usuário deve observar o colo do

útero e solicitar a aplicação de ácido acético seguido de lugol. Nesta etapa do exame são requisitadas três impressões ao usuário, uma após a visualização crua do colo, outra após a aplicação de ácido e outra após a aplicação do lugol. Estas três impressões devem ser dentre as possibilidades: JEC visível, JEC invisível, cistos de Naboth, leucoplasia, condiloma ou colpíte. Após a emissão da terceira opinião, o espéculo é retirado e o exame passa para a fase de toque bimanual.

Na etapa de toque bimanual não há informações visuais do colo do útero e o dispositivo háptico simula os dedos do médico para que o usuário possa tatear a genitália interna feminina, a fim de completar o exame ginecológico. Nesta etapa do exame o usuário emite a sua impressão resultante da interação tátil. As possibilidades para esta impressão são: saudável, enrijecido ou friável (situação em que o colo está muito sensível ao toque). Após a emissão desta impressão pelo usuário, é solicitado que ele adote uma conduta adequada para o caso apresentado. A conduta deve ser entre as seguintes possibilidades: Interação medicamentosa, solicitação de colposcopia ou solicitação de biópsia.

Uma vez que o usuário encerra sua interação com o sistema, pela indicação dos exames a serem realizados, o sistema realiza a avaliação da interação do usuário baseado nos dados de entrada que lhe são passados (as impressões, a conduta e os dados provenientes do dispositivo háptico), classificando o exame realizado pelo usuário em uma classe de desempenho e indicando aonde foram cometidos os possíveis erros, baseado nos valores de pertinência das entradas em relação à(s) regra(s) que indica(m) a realização do exame com perfeição. O detalhamento dos dados de entrada e do próprio sistema especialista do SITEG é realizado na Seção 3.5.5.

O **modo estudo** é semelhante ao modo de treinamento e sua execução passa pelas mesmas fases que o modo de treinamento. Contudo, dada a intenção deste modo de oferecer um estudo mais detalhado de cada passo do exame, o usuário pode escolher o caso que lhe será apresentado, além de obter descritivos de cada estrutura que interagir e indicações sobre a forma correta da realização do procedimento. Neste modo, a escolha do caso se dá pela escolha da característica visual (JEC visível, JEC

invisível, cistos de Naboth, leucoplasia, condiloma, colpíte e herpes) e da característica háptica (colo saudável, enrijecido, friável) que se deseja que seja simulada. Uma vez que, neste modo, o usuário escolhe a patologia simulada não há a necessidade da emissão de opiniões durante o exame, nem é realizada e avaliação da sua interação.

3.3.4 Requisitos do SITEG

Com relação aos requisitos do sistema, destacam-se os visuais e os táteis. Sobre os requisitos visuais, o sistema não precisa ser fotorrealista, entretanto deve fornecer uma visualização adequada das estruturas da paciente virtual, de forma que o estudante possa perceber na simulação características importantes que deveriam ser notadas no exame real. Situação semelhante ocorre com o realismo tátil. Uma vez que a sensação de tato é notadamente mais difícil de ser simulada do que outros sentidos, a simulação deve buscar prover situações que simulem sensações, ou parte delas, importantes que devem ser percebidas pelo usuário através do tato.

Outro fator que pode ser descrito como um dos requisitos do sistema é a sua utilização em plataformas computacionais populares. Este requisito visa tornar o sistema o mais abrangente possível, para que possa ser aplicado nas mais diversas situações e para o maior número de pessoas do seu público alvo (estudantes da área de saúde, notadamente medicina e enfermagem). Este requisito norteou, por exemplo, as escolhas de tecnologias livres para o desenvolvimento deste trabalho. Neste ponto é importante ressaltar que, apesar dos esforços realizados, há fatores limitantes quanto à utilização do sistema, como a máquina na qual o sistema será utilizado, que precisa ter placa de vídeo para suportar o sistema e dispositivo háptico para que o mesmo seja utilizado corretamente.

3.4 Interação com o sistema

Uma vez que o SITEG envolve a utilização de dispositivos não convencionais, a interação no sistema precisou ser pensada de forma que o usuário alcance suas metas de interação com o sistema de forma mais simplificada possível. A funcionalidade

relacionada à interação fornecida pelo CyberMed é a exibição de menus *popup*. Desta forma a comunicação de mensagens ao SITEG, tais como: reiniciar o modo atual, mudar de modo, retornar ao menu inicial, avançar etapas do exame ou sair da execução do sistema, são possíveis através de menus *popup* acessados através do botão direito do mouse. No SITEG, além da interação via *mouse*, é possível a interação com dispositivo háptico e a visualização tridimensional que necessita de óculos especiais. A interação háptica é detalhada na Seção 3.4.1 e a interação visual na Seção 3.4.2.

Neste ponto é importante ressaltar que para a realização do exame ginecológico completo é mandatório a utilização de dispositivo háptico. Sem o mesmo, não é possível a realização das etapas de coleta de material para exame bacteriológico e de exame tátil da paciente. Desta forma, sem a utilização de um dispositivo háptico, não é possível realizar a avaliação da interação do usuário.

3.4.1 Interação háptica

A interação háptica no ambiente tridimensional é feita com o dispositivo de interação Phantom Omni. Tal dispositivo consiste em um braço robótico que permite interação com ambientes tridimensionais com seis graus de liberdade (translação e rotação nas três dimensões). O Phantom rastreia a posição das coordenadas x, y e z do dispositivo físico de acordo com o movimento do interador no ambiente tridimensional. Então, são comunicadas forças de retorno ao usuário de acordo com as colisões detectadas no ambiente tridimensional do sistema. Este dispositivo será utilizado para simular a ferramenta utilizada para realizar a coleta de material para exame citológico e o dedo do médico na etapa tátil do exame.

O dispositivo Phantom oferece um conjunto de propriedades (rigidez, elasticidade, fricção estática e dinâmica são as principais) que devem ser calibrados na criação de uma cena háptica. Neste ponto foi coletado com a especialista as situações possíveis de serem observadas no exame tátil das estruturas internas da paciente no exame ginecológico. A especialista informou que, ao realizar o exame, o médico deve atentar se o colo está enrijecido (que corresponde a uma textura tátil similar a uma

cartilagem humana), se o mesmo está friável (muito sensível ao toque) ou se está saudável (textura similar ao lóbulo da orelha humana).

Uma vez definidas estas situações, a especialista foi submetida a um sistema de calibração háptica existente no CyberMed [Gomes, 2009]. Neste sistema é possível a alteração das propriedades hápticas de esferas em um ambiente tridimensional e a visualização tátil do resultado. Desta forma, foi requisitado que a especialista calibrasse as esferas de acordo com as três situações descritas por elas anteriormente: colo saudável, enrijecido ou friável. A calibração foi feita com a manipulação de valores percentuais relacionados às características fornecidas pelo dispositivo. O resultado da opinião da especialista resultou na Tabela 5. Estes valores foram utilizados na calibração do dispositivo Phantom Omni no SITEG.

Tabela 5 - Propriedades hápticas utilizadas no colo do útero no SITEG. Valores normalizados entre 0 e 1 e representados via percentual.

Propriedades Hápticas	Situações possíveis		
	Saudável	Enrijecido	Friável
Rigidez	90 – 80%	65%	65%
Elasticidade	10%	100%	65%
Fricção Estática	5%	5%	90%
Fricção Dinâmica	5%	5%	90%

3.4.2 Interação visual

A adição de visualização tridimensional em aplicações de Realidade Virtual aumenta a imersão proporcionada por estas aplicações. A visualização tridimensional é possível mediante a utilização de estereoscopia. A estereoscopia pode ser entendida como a fusão, feita no cérebro, de duas imagens bidimensionais (par estéreo) resultantes da projeção planar de uma cena tridimensional [Machado, 2005].

Para a observação tridimensional de uma cena deve-se primeiro escolher o método de geração do par estéreo. Nesta etapa, uma imagem da cena precisa ser desenhada duas vezes com uma pequena alteração na posição horizontal do

observador. Esta diferença, que gera duas imagens semelhantes às geradas pelos olhos humanos, faz com que um único ponto da cena original seja colocado em dois pontos diferentes no par de imagens formado. A diferença na posição desse ponto para as duas imagens, denominada paralaxe, é o que dimensiona a sensação de profundidade para esse ponto. Este cálculo da paralaxe precisa ser preciso, sob pena da perda de visão tridimensional pelo usuário [Burdea, 2003].

No SITEG é utilizado o método *off-axis* para a geração do par estéreo. Este método consiste na criação de dois centros de visualização através de deslocamentos do centro de projeção original ao longo do eixo horizontal. Em comparação com os outros métodos existentes - o *on-axis* (imagens geradas por translações horizontais do objeto), ou o das rotações (imagens geradas por rotações do objeto em torno do próprio eixo) – o método *off-axis* é o que gera o par estéreo de forma mais correta, minimizando as perdas de informação e as disparidades que podem ser geradas pela paralaxe [Hodges, 1992].

O passo seguinte é a escolha de um dispositivo adequado para a visualização do par estéreo. A técnica que utiliza óculos polarizados exige o uso de dois projetores e filtros para polarizar a luz de forma adequada. Apesar da existência de *Head Mounted Displays* de preços acessíveis, estes são individuais e não permitem a visualização em grupos de trabalho. Na técnica de anaglifo, a opção mais viável financeiramente, não são exigidos projetores ou equipamentos especiais, sendo necessário apenas o uso de óculos com filtros coloridos que podem ser confeccionados pelo próprio usuário. O principal problema associado a esta técnica é o fato de que esta técnica gera a pior sensação de profundidade dentre todas as técnicas [McAllister, 2002].

No SITEG é utilizada a técnica de luz intermitente, onde o par estéreo é apresentado simultaneamente. Nesta técnica o controle sobre o que deve ser observado por cada olho por observador é realizado por óculos especiais com lentes de cristal líquido (óculos obturadores) sincronizados com o projetor ou o monitor que exhibe a cena tridimensional. Esta técnica demanda um projetor ou monitor de alta frequência, uma placa de vídeo específica e óculos obturadores, cujos custos podem tornar pouco viável seu uso em aplicações nas quais se deseja baixo custo financeiro. Entretanto,

esta técnica gera uma visualização tridimensional com uma alta sensação de profundidade. Os óculos obturadores utilizados no SITEG podem ser observados na Figura 14.



Figura 14 - Óculos obturadores utilizados no SITEG.

3.5 Sistema de avaliação do usuário

A representação de conceitos imprecisos e a possibilidade da inclusão da experiência humana são fatores que acrescentam relevância aos simuladores virtuais para medicina, ao passo que possibilitam a avaliação da interação do usuário com o simulador. A construção de um sistema de avaliação passa pela escolha de uma metodologia de avaliação adequado para o caso tratado. Como foi detalhado na Seção 2.5.3, podem ser encontrados na literatura metodologias para sistemas de avaliação em simuladores virtuais para medicina baseados em análises de vídeos, modelos de Markov, redes bayesianas, máxima verossimilhança, lógica *fuzzy* e sistemas especialistas. Uma vez que o projeto do sistema de avaliação do SITEG baseou-se no sistema de avaliação proposto em Machado (2006c), decidiu-se que o sistema de avaliação do SITEG utilizaria a metodologia de um sistema especialista baseado em lógica *fuzzy*.

3.5.1 Lógica fuzzy

A lógica *fuzzy* (também conhecida como nebulosa ou difusa) representa um esquema de tradução de informações vagas e imprecisas em valores numéricos. Este tipo de lógica possibilita a inclusão da experiência humana em sistemas de controle

computadorizado, tornando possíveis decisões em problemas complexos [Zadeh, 1965].

Na Teoria dos Conjuntos Clássica, um elemento ou pertence a um conjunto ou não. Logo, dado um universo U e um elemento particular $x \in U$, a função de pertinência $\mu_A(x)$ com respeito a um conjunto clássico A que está contido em U é dado por:

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1 & \text{se } x \in A \\ 0 & \text{se } x \notin A \end{cases}$$

Um conjunto *fuzzy* pode ser visto como uma representação de um conjunto na Teoria dos Conjuntos Clássica, do qual só tem-se um conhecimento impreciso. Nesse caso, a pertinência de um elemento a um conjunto é dada não mais por um valor em $\{0,1\}$, mas por um valor qualquer no intervalo $[0,1]$, isto é, a pertinência de um elemento a um conjunto pode ser parcial [Zadeh, 1965].

3.5.2 Conceitos gerais

Dado um universo U , um elemento particular $x \in U$ e um conjunto *fuzzy* F que está contido em U , define-se como **função de pertinência** de x em relação a F a função $\mu_F(x)$ da forma:

$$\mu_F(x): U \rightarrow [0,1]$$

Na lógica *fuzzy*, os valores verdadeiros são expressos lingüisticamente, onde cada termo lingüístico é interpretado como um subconjunto *fuzzy* do intervalo unitário. Neste contexto, uma variável *fuzzy* pode assumir valores que são sentenças em uma linguagem natural ou artificial. Por exemplo, a variável *fuzzy* “altura” poderia assumir valores como “muito baixo”, “baixo”, “alto” e “muito alto”. Uma variável *fuzzy* pode ser denominada de **variável lingüística** [Zadeh, 1973].

A forma de expressar o conhecimento em um sistema *fuzzy* é tipicamente com regras do tipo condição –ação. De forma genérica, uma regra *fuzzy* é do tipo:

SE (x é ai) E (y é bi) OU ... ENTÃO (z é ci) E (w é di)...

onde x e y são variáveis lingüísticas de entrada, z e w são variáveis lingüísticas de saída e ai, bi, ci e di são realizações dessas variáveis, medidas na interação do usuário com o sistema [Zadeh, 1973].

Em resumo, a lógica *fuzzy* generaliza a lógica clássica no intervalo [0,1]. Deste modo, a implementação de um projeto de sistema *fuzzy* pode ser reduzido a um ponto em que problemas anteriormente de difícil tratamento passam a ser factíveis de mais simplificada solução [Zadeh, 1973].

3.5.3 Operações com conjuntos fuzzy

Sobre dois conjuntos *fuzzy*, de forma semelhantes aos conjuntos clássicos, podem ser aplicadas operações de complemento, união e intersecção. Para a execução das operações de intersecção e união são utilizados os operadores t-norma e t-conorma. A t-norma é um operador binário que define a intersecção entre dois conjuntos *fuzzy* (operador AND), enquanto a t-conorma define a união entre dois conjuntos *fuzzy* (operador OR). As principais t-normas e t-conormas utilizadas podem ser vistas na Tabela 6.

Tabela 6 - Principais t-normas e t-conormas [Moraes, 1998].

t-norma	t-conorma
$\min(a,b)$	$\max(a,b)$
ab	$a + b - ab$
$\max(a + b - 1, 0)$	$\min(a + b, 1)$
$\begin{cases} a, & \text{se } b = 1 \\ b, & \text{se } a = 1 \\ 0, & \text{senão} \end{cases}$	$\begin{cases} a, & \text{se } b = 0 \\ b, & \text{se } a = 0 \\ 1, & \text{senão} \end{cases}$

3.5.4 Sistemas especialistas

A idéia básica em um sistema especialista (SE) é modelar as ações a partir do conhecimento de um especialista. Um SE pode ser baseado em lógica clássica, contudo, a representação de incertezas da lógica *fuzzy* faz com que a mesma seja a mais indicada para a construção de sistemas especialistas. Uma estrutura de um SE genérico baseado em lógica *fuzzy* foi proposta por Mamdani e pode ser vista na Figura 15. Esta estrutura ficou conhecida como modelo de inferência *fuzzy* de Mamdani [Nobre, 1997].

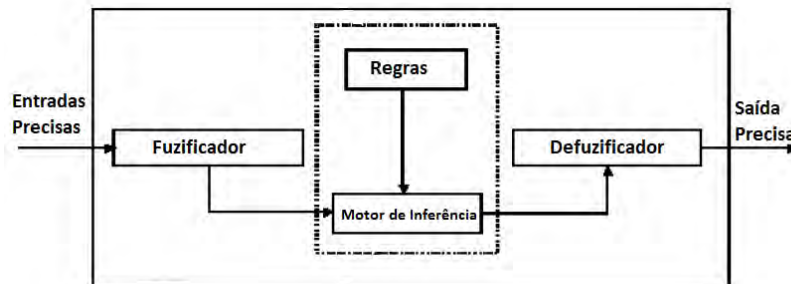


Figura 15 - Modelo de inferência fuzzy de Mamdani. Adaptado de [Mamdani, 1974].

Os componentes básicos do modelo de inferência *fuzzy* de Mamdani são:

- **Interface de Fuzzificação:** Recebe os valores das variáveis de entrada e os faz passar por um processo denominado fuzzificação, onde eles são transformados em instâncias de variáveis lingüísticas [Nobre, 1997]. Este processo ocorre mediante a aplicação de uma equação (regra de formação), que varia de acordo com a função de pertinência utilizada, sobre o dado de entrada. Duas funções de pertinência comumente utilizadas são as de forma triangular e trapezoidal [Nobre, 1997]. Na Figura 16 podem ser observadas as regras de formação para funções de pertinência triangulares e trapezoidais.

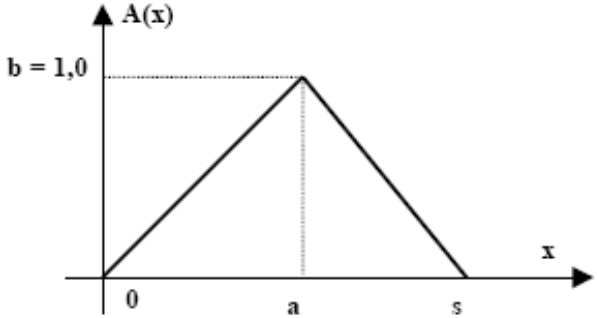
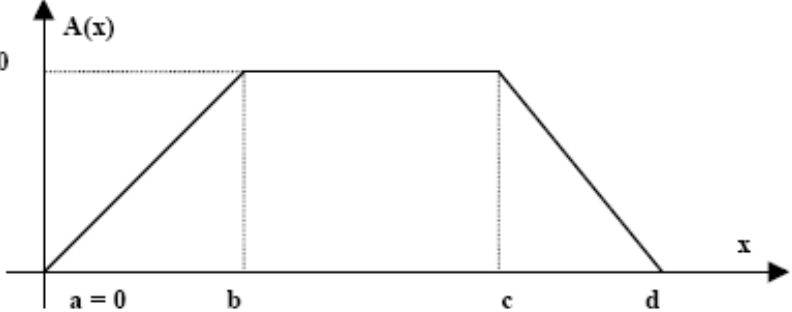
Função	Regra de Formação
Triangular	 $A(x) = \begin{cases} b \left(1 - \frac{ x-a }{s} \right) & , \text{ quando } a-s \leq x \leq a+s \\ 0 & , \text{ caso contrário.} \end{cases}$
Trapezoidal	 $A(x) = \begin{cases} \frac{(a-x)e}{a-b} & , \text{ quando } a \leq x \leq b \\ e & , \text{ quando } b \leq x \leq c \\ \frac{(d-x)e}{d-c} & , \text{ quando } c \leq x \leq d \\ 0 & , \text{ caso contrário.} \end{cases}$

Figura 16 - Funções de pertinência triangular e trapezoidal [Nobre, 1997].

A escolha das funções de pertinência adequadas, assim como a definição de suas características, é feita, basicamente, baseando-se no conhecimento do especialista. No universo de discurso de uma variável o intervalo numérico tem que abranger todos os possíveis valores reais que esta variável pode assumir [Nobre, 1997].

- **Base de Conhecimento:** Local onde os fatos e regras que representam o conhecimento do especialista residem. Muitos sistemas utilizam regras como a base de conhecimento sendo considerados “sistemas baseados em regras”. Outros sistemas utilizam de outras técnicas para a representação do conhecimento, como redes semânticas e frames. Pelo fato da base de conhecimento ser separada da máquina de inferência o conhecimento contido na base é fácil de ser modificado. Podendo adicionar regras novas, remover ou modificar as regras antigas [Fernandes, 2004].
- **Procedimento de Inferência:** Processa os dados *fuzzy* de entrada, junto com as regras, de modo a inferir os conjuntos *fuzzy* de saída.

A inferência inicia com as variáveis lingüísticas de entrada de cada regra sendo processadas por meio das operações de conjuntos *fuzzy*, de acordo com os conectivos (AND ou OR) utilizados. Este processo gera um grau de pertinência de ativação para cada regra. Sobre este grau de pertinência de ativação de cada regra é realizada a implicação mediante a aplicação do operador de implicação escolhido (ver Tabela 7). No último passo do processo é aplicado o operador de agregação sobre todos os valores resultantes da implicação de cada regra para a geração de um conjunto *fuzzy* único que será passado para o a interface de defuzzificação. [Moraes, 1998].

A implicação consiste na formulação de uma conexão entre causa e efeito, ou uma condição e sua consequência. Para a realização da implicação podem ser utilizados vários operadores, alguns dos quais estão descritos na Tabela 7 [Moraes, 1998]. Neste contexto foi escolhido o operador de Mamdani pelo mesmo ser considerado adequado para o tratamento dos conjuntos fuzzy utilizados no SITEG.

Tabela 7 - Principais operadores de implicação [Moraes, 1998].

Operador de Implicação	Nome
$\min(a, b)$	<i>Mamdani</i>
$1 - a + ab$	<i>Reichenback</i>
$\min(1 - a + b, 1)$	Lukasiewicz
$\max(1 - a, b)$	<i>Kleene-Dienes</i>

Neste ponto é importante ressaltar que o operador que implementa a agregação é usualmente escolhido em função do operador de implicação escolhido. Por exemplo, quando é escolhido o operador de implicação de Lukasiewicz, o operador de agregação pode ser uma t-norma qualquer. No caso de escolha de qualquer um dos outros três operadores de implicação, o operador de agregação pode ser uma t-conorma qualquer [Moraes, 1998].

- **Processo de Defuzzificação:** Transforma os conjuntos *fuzzy* inferidos em dados precisos. Efetua um escalonamento, de modo a compatibilizar os valores normalizados vindos do procedimento de inferência com os valores dos universos de discurso reais das variáveis [Nobre, 1997]. Para selecionar o método apropriado de defuzzificação, pode-se utilizar um enfoque baseado no centróide ou nos valores máximos que ocorrem da função de pertinência resultante. Três estratégias de defuzzificação comumente utilizadas são:
 - a) **Média dos Máximos:** representa o valor médio dentre todos os pontos máximos, quando existe mais de um máximo.
 - b) **Método do Centro de Área:** este método, também é conhecido como centróide, centro de gravidade ou de massa e consiste no cálculo do centro de área do gráfico dos dados vindos do procedimento de inferência.
 - c) **Critério do Máximo:** escolhe os pontos onde a funções de pertinência têm seus máximos e ignora as áreas das funções de pertinência.

Os sistemas especialistas baseados em lógica *fuzzy* estão presentes em

aplicações de diversas áreas, como: engenharia de controle industrial, manufatura, comunicações homem-máquina e sistemas de tomada de decisão [Pagliosa, 2003]. No caso da avaliação em simuladores virtuais para medicina, o uso de sistemas especialistas baseados em lógica *fuzzy* permite, além da classificação da interação do usuário de acordo com o seu desempenho, a retirada de conclusões acerca das possíveis falhas e imprecisões do usuário baseada na análise das pertinências dos dados [Machado, 2006c].

3.5.5 Projeto do sistema de avaliação do SITEG

O propósito de um sistema de avaliação é a classificação da interação do usuário através da supervisão dos seus movimentos e de outros parâmetros associados a sua interação. Desta forma, o sistema de avaliação do SITEG captura informações relevantes sobre o exame durante as suas etapas e interage com o usuário para conhecer as razões da sua escolha por determinada conduta. Esta conduta é avaliada de acordo com o caso apresentado pelo simulador virtual, onde as patologias são apresentadas aleatoriamente ao usuário. Um profissional bem treinado deve ser capaz de reconhecer e adotar as condutas adequadas aos casos saudáveis e anormais.

Neste contexto, o caso específico do sistema de avaliação para simulador de exame ginecológico não é similar aos já apresentados na literatura, em sua maioria, para a avaliação em procedimentos cirúrgicos. Este tipo de exame requer uma abordagem baseada no conhecimento do usuário utilizado para a adoção de uma conduta e a verificação da correção desta conduta. Ainda é pertinente ressaltar que o fato do sistema de avaliação ser acoplado ao simulador virtual, oferecer o resultado da avaliação de forma *on-line* e ser capaz de identificar aonde ocorreram os possíveis erros na realização do procedimento (de acordo com a análise dos valores de pertinência) complementam a diferenciação do sistema de avaliação desenvolvido neste trabalho em relação outros já apresentados na literatura.

O sistema de avaliação do SITEG é baseado no modelo de inferência *fuzzy* de Mamdani e foi modelado de acordo com as informações extraídas do conhecimento da especialista. Neste ponto é importante ressaltar que uma metodologia de avaliação

semelhante já havia sido proposta em 2006 no trabalho de Machado (2006c). Naquele trabalho, o sistema de avaliação do SITEG era baseado em dois sistemas especialistas *fuzzy* ligados por uma base de dados. Esta divisão do sistema especialista dava-se por causa da divisão do exame ginecológico em duas etapas (etapa visual e etapa tátil). A arquitetura do sistema de avaliação proposta em Machado (2006c) pode ser observada na Figura 17.

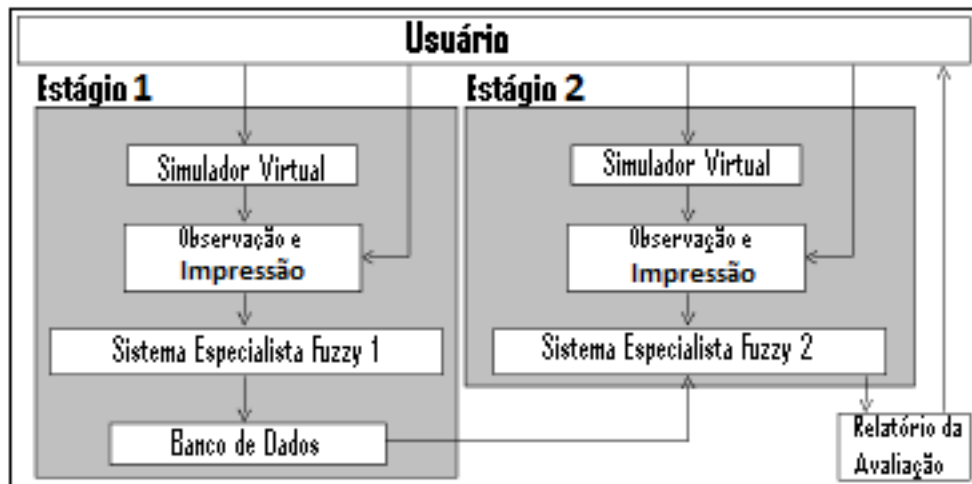


Figura 17- Arquitetura Inicial do Sistema de Avaliação do SITEG proposta em 2006 [Machado, 2006c].

No entanto, durante o desenvolvimento deste trabalho, novas informações coletadas sobre um novo escopo do exame real com a especialista mudaram a concepção do sistema, de forma que não era mais necessário dividi-lo em uma etapa exclusivamente visual e outra exclusivamente tátil. Neste ponto o sistema de avaliação foi remodelado para um sistema especialista *fuzzy* único, cuja arquitetura pode ser observada na Figura 18.

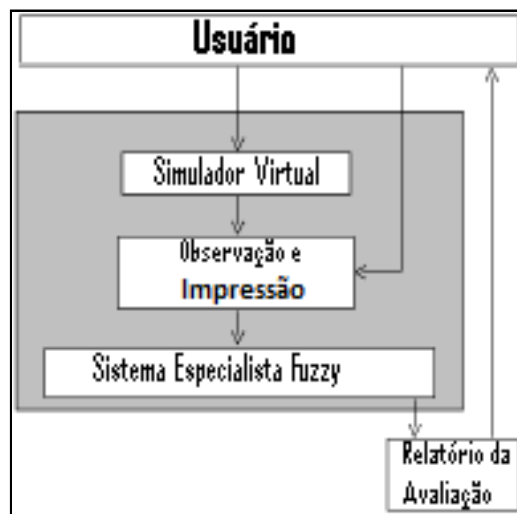


Figura 18 - Arquitetura do Sistema de Avaliação do SITEG.

Ainda é importante ressaltar que, em caso de realização não correta do procedimento, o sistema de avaliação é capaz de detectar aonde foi cometido o erro do usuário, através da análise dos graus de pertinência observados durante a sua interação. Todas estas informações, incluindo a classe de desempenho na qual foi classificado o usuário são providas ao usuário através do relatório de avaliação.

O primeiro passo na modelagem do sistema especialista foi a definição das variáveis e suas funções de pertinência. Neste ponto foi definido que as funções de pertinência utilizadas seriam da forma triangular e trapezoidal, pois as mesmas conseguiam representar de forma adequada os conjuntos modelados pela especialista. Na definição das funções de pertinências são consideradas nove variáveis, das quais cinco correspondem às impressões emitidas pelo usuário durante a execução do sistema (externa, cru, ácido, lugol e toque), uma corresponde à ordem de execução das etapas do exame (ordem), uma corresponde à área coberta pelo usuário na realização da coleta (cobertura), uma corresponde à força aplicada pelo usuário no exame tátil (força) e uma corresponde à variável de saída do sistema especialista (exame).

Para a construção das funções de pertinência correspondentes às impressões emitidas pelo usuário, foram utilizadas informações extraídas da especialista e analisados histogramas referentes às texturas apresentadas. Desta forma, as funções de pertinência destas variáveis buscaram refletir a proximidade ou afastamento entre as

situações. Neste ponto é importante ressaltar que o usuário pode não emitir a sua opinião em determinada etapa. Neste caso, para cada variável lingüística associada à emissão de impressão por parte do usuário, foi modelado o conjunto *fuzzy* “dúvida” para a captação das situações onde o usuário não emite ou emite mais de uma opinião.

A variável de cobertura foi modelada de forma a mensurar a correção do movimento realizado pelo usuário na realização da coleta do material do colo do útero. Para tanto, o colo do útero foi dividido em oito seções, as quais o usuário deve percorrer completamente com o dispositivo háptico para que a coleta seja considerada correta (Figura 19).

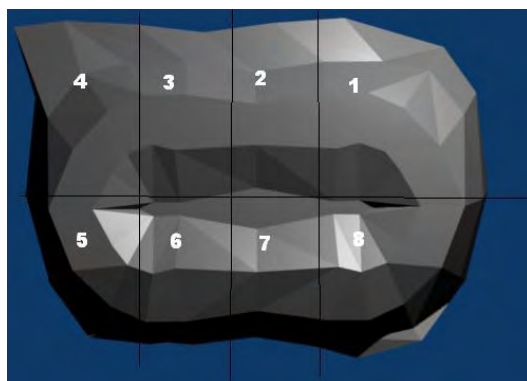


Figura 19 - Divisão do colo em seções para captação da variável cobertura no procedimento de coleta.

A informação sobre a variável força foi retirada da interação com a especialista, após a análise de sua interação no calibrador háptico. O calibrador háptico é uma aplicação desenvolvida com o CyberMed, através da qual é possível calibrar as características hápticas de uma cena e sentir o resultado gerado. Com relação a captura dos dados de força, uma vez que o dispositivo háptico trabalha numa frequência de 1000 Hz, é gerado um vetor de valores de força durante a realização da etapa tátil do exame. Após a conclusão desta etapa, são excluídos os zeros do vetor (que são obtidos quando o médico não está tocando o colo do útero) e o vetor é ordenado. Em seguida é retirado o valor da mediana do vetor, e este valor representará a variável força na realização do exame.

A variável exame é a variável de saída do sistema especialista e classifica a

interação do usuário em uma das cinco classes: muito ruim, ruim, regular, muito bom ou correto. Na Figura 20 pode-se observar a função de pertinências da variável lingüística força. No Anexo III deste documento podem ser observadas todas as funções de pertinência definidas para as variáveis lingüísticas do SITEG.

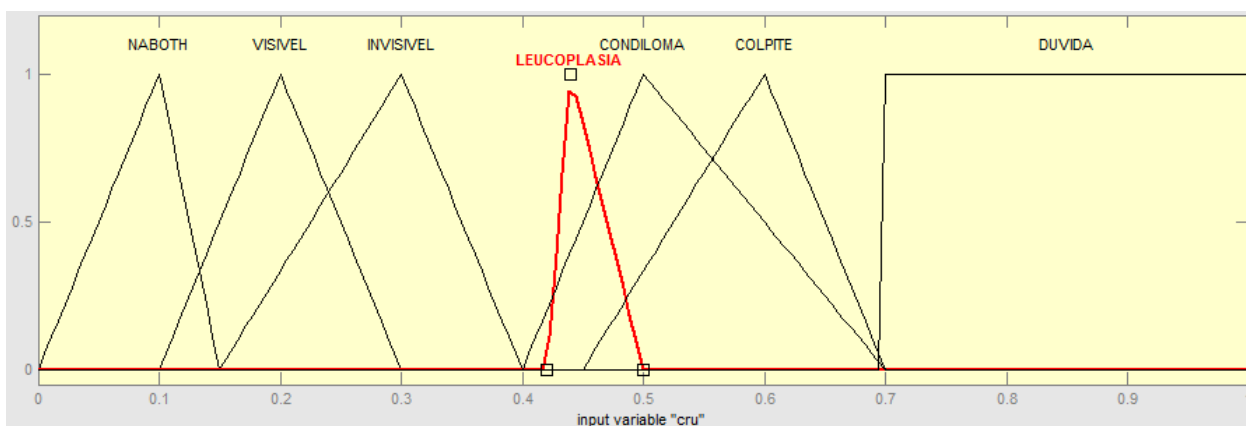


Figura 20 - Funções de pertinência da variável de entrada "cru", que representa a visualização do colo do útero antes da aplicação de qualquer substância.

Uma vez definidas as funções de pertinência, foram definidas as regras para o sistema especialista. As regras foram definidas de acordo com as informações extraídas da especialista e de acordo com as sete situações simuladas pelo SITEG (JEC visível, JEC invisível, cistos de Naboth, leucoplasia, condiloma, colpíte e herpes). Desta forma, quando é realizada a avaliação são avaliadas apenas as regras específicas para a situação simulada e não todas as regras do sistema. No Anexo IV deste documento pode ser observado o conjunto de regras completo definido para o SITEG.⁷

Após a definição das regras foram realizadas as definições das características específicas do sistema especialista. Neste contexto, pela adequação às necessidades do sistema especialista proposto, decidiu-se pela utilização do modelo de inferência *fuzzy* de Mamdani, onde a t-norma foi definida como sendo a t-norma min e a t-conorma como t-conorma max. Para a implicação foi utilizado o operador de Mamdani, para a

⁷ Neste trabalho, embora tenha sido definido o conjunto completo de regras, apenas algumas foram de fato implementadas. Uma discussão neste sentido é feita na Seção 5.1.

agregação foi escolhida a t-conorma Max, enquanto o método de defuzzificação utilizado foi o do centro de área.

3.6 Tecnologias e ferramentas utilizadas

A construção de um simulador virtual passa pela escolha de uma linguagem de programação, uma biblioteca gráfica, um *framework* (quando adequado), e uma ferramenta de modelagem. Como linguagem de programação foi utilizada a linguagem C++, pelo fato da mesma ser uma linguagem madura, padronizada, amplamente utilizada, possuir material e grupos de discussão disponíveis. Além disso esta linguagem ainda é projetada para atender projetos de grande porte e é a linguagem nativa do *framework* CyberMed [Schildt, 2003].

A biblioteca gráfica utilizada foi a OpenGL pelo fato da mesma ser a biblioteca gráfica suportada pelo CyberMed, além de possuir alto desempenho computacional, visto que explora as potencialidades da placa gráfica, e permitir a designação de um ambiente tridimensional adequado, com efeitos como coloração, iluminação e texturização [Shreiner, 2005]. Em termos de modelagem tridimensional, foi utilizada a ferramenta Blender pelo fato da mesma ser uma tecnologia livre e madura, possuir extensa documentação e materiais para estudo, permitir modelagem interativa [Blender, 2010]. O Blender ainda possui suporte a arquivos VRML, (*Virtual Reality Modeling Language*) que é o formato de arquivo tridimensional suportado pelo CyberMed [Machado, 2005].

3.6.1 O framework CyberMed

O desenvolvimento de um sistema de RV engloba diferentes funcionalidades. Neste sentido, o aprendizado de técnicas específicas, bem como o aprendizado de bibliotecas de dispositivos e a integração de todas as tarefas demandam tempo e podem tornar complexo o processo de desenvolvimento [Machado, 2008]. Em acordo com o que foi dito na Seção 2.5.1, a utilização de *frameworks* surge como uma alternativa para a facilitação do trabalho de criação de simuladores virtuais, além de proporcionar um desenvolvimento estruturado e padronizado do sistema, facilitando sua

futura manutenção e desenvolvimento.

Neste contexto, o CyberMed foi concebido como um *framework* voltado para o desenvolvimento de aplicações de simulação baseadas em RV para a área médica. Para tanto, ele oferece ao seu usuário funcionalidades que viabilizam a criação e manipulação de ambientes tridimensionais adequados ao ensino e treinamento de procedimentos médicos. Dentre essas funcionalidades estão inclusas: a definição de uma estrutura de dados, a interação háptica, a detecção de colisão, a deformação dos modelos tridimensionais, a avaliação do treinamento do usuário e a visualização tridimensional das cenas gráficas. Na Figura 21 pode-se observar a arquitetura do *framework* CyberMed.

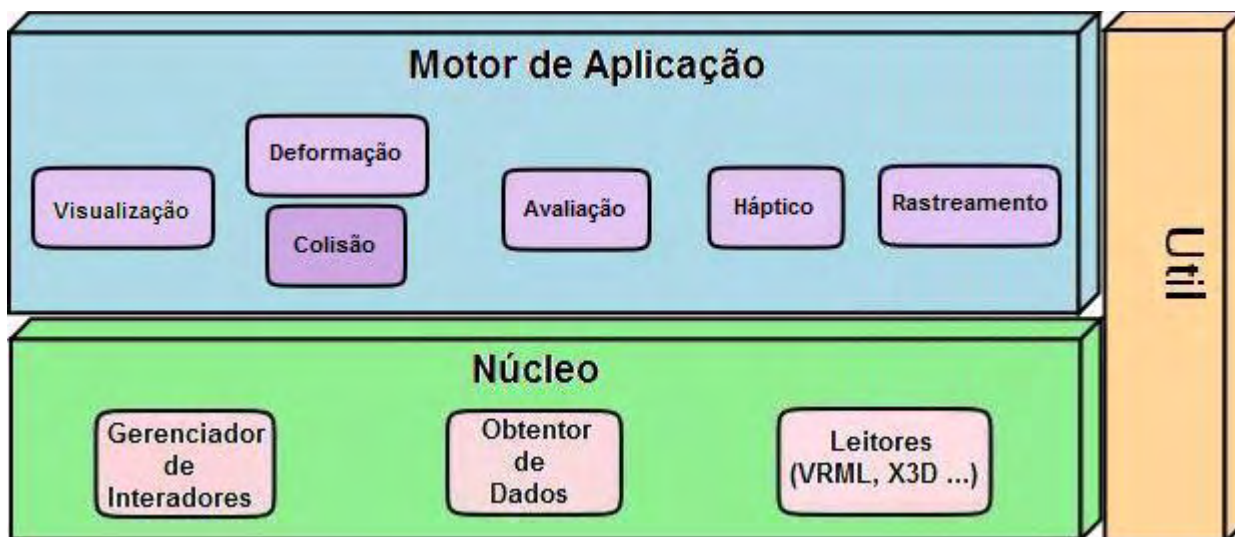


Figura 21 - Arquitetura do *framework* CyberMed [Machado, 2009].

3.7 Considerações

Os conceitos definidos neste Capítulo delineiam o domínio do problema e definem o projeto do SITEG. Foi realizado o detalhamento do procedimento do exame ginecológico e das patologias associadas a ele, foi detalhado o projeto de um simulador virtual para exames ginecológicos, o SITEG. Além disso, foram definidos conceitos fundamentais como lógica *fuzzy*, variáveis lingüísticas, funções de pertinência e

sistemas especialistas e foram detalhadas as ferramentas que serão utilizadas no desenvolvimento do sistema. As definições detalhadas neste Capítulo embasam o desenvolvimento do SITEG, que será detalhado no Capítulo seguinte.

4 Desenvolvimento

Este Capítulo apresenta o desenvolvimento do sistema para simulação de exame ginecológico, SITEG. É detalhada a definição dos modelos tridimensionais utilizados no sistema, o processo de criação das texturas, a implementação do simulador virtual e do sistema de avaliação associado.

4.1 Definição dos modelos tridimensionais

A modelagem é uma técnica utilizada para criar representações abstratas (virtuais) para uso em sistemas computacionais. Ela pode ser entendida como a representação computacional dos objetos de um ambiente e determina a arquitetura geral e detalhada de objetos virtuais que representam objetos reais. A modelagem de objetos virtuais normalmente é baseada em polígonos, onde um objeto é formado pela união e combinação de vários desses polígonos [Burdea, 2003].

A construção dos modelos tridimensionais foi uma tarefa importante no desenvolvimento do SITEG, visto que os mesmos precisavam representar adequadamente as estruturas e ferramentas envolvidas no exame ginecológico. Os modelos tridimensionais são utilizados no SITEG com duas finalidades, para representar as estruturas ginecológicas da paciente (modelos de cena) e para representar as ferramentas utilizadas pelo estudante na realização do exame ginecológico (modelos de interadores). Os modelos de cena são estáticos, enquanto os modelos de interadores podem ser movidos com o *mouse* ou com o dispositivo háptico. O *framework* CyberMed oferece uma ED otimizada para a carga de modelos tridimensionais. Ele suporta a carga de modelos no formato VRML e oferece a possibilidade da carga dos modelos de interadores e dos modelos de cena.

Os modelos foram construídos em malhas triangulares com a ferramenta de modelagem Blender, como já havia sido definido na Seção 3.6. Uma vez definidos, os modelos foram exportados para o formato VRML para que pudessem ser carregados na cena gráfica pelo *framework* CyberMed. Na Figura 22, pode-se observar os modelos do colo do útero (modelo de cena) e do espécuro (modelo de interador) utilizados no SITEG. Todos os modelos e suas respectivas quantidades de vértices e faces podem

ser vistos no Anexo I deste trabalho. Neste ponto é importante ressaltar que alguns modelos (espéculo, haste flexível e vagina) já haviam sido construídos em um projeto de iniciação científica de 2008 [Santos, 2008], enquanto os demais modelos (colo, tubo, mão, vagina aberta e fechada) foram construídos durante este trabalho.

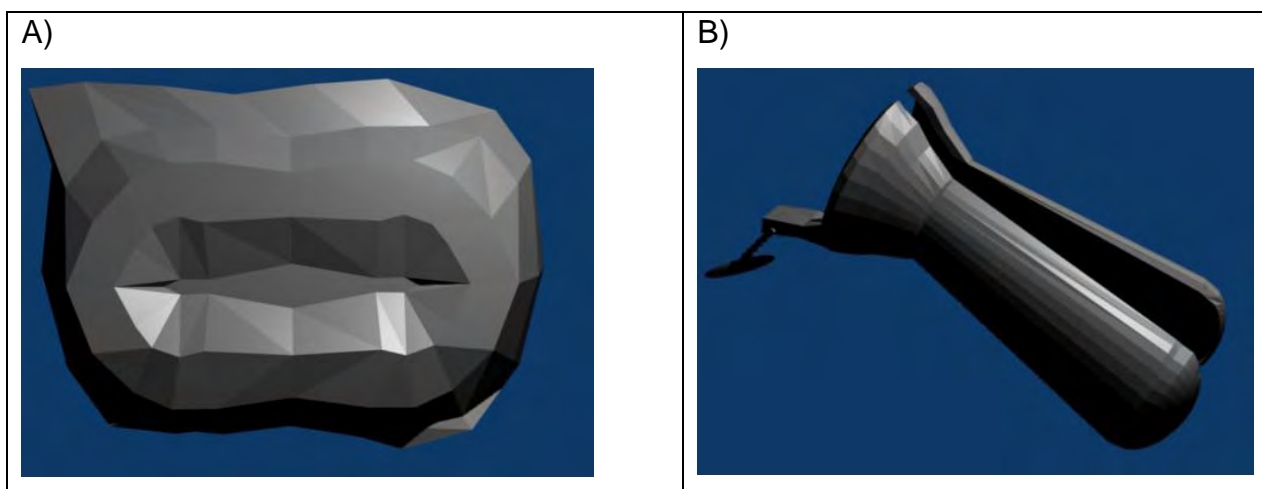


Figura 22 - Modelos tridimensionais utilizados no SITEG. A) Modelo do colo do útero (modelo de cena) e B) Modelo do espéculo (Modelo de interador).

4.2 Criação das texturas

A aplicação de texturas é uma técnica importante que é utilizada para adicionar realismo às cenas geradas por computador sem que seja exigida uma sobrecarga de processamento no sistema. Através da aplicação de textura é possível a simulação de vários objetos (árvores, gramados, tecidos...) e situações (como sombreamento e iluminação estáticos). Para a criação de texturas mais realistas no SITEG foi utilizada a técnica de texturização UV.

4.2.1 Texturização UV

O processo de texturização UV consiste na aplicação de um mapa de textura 2D em um objeto 3D. Para tanto, é necessária a definição de um conjunto de coordenadas para a descrição do mapa de textura em função das coordenadas cartesianas X,Y e Z do objeto tridimensional [Mullen, 2009].

O processo de mapeamento UV requer a conclusão de três etapas: a abertura da malha, a criação da textura e a aplicação da textura. A abertura da malha consiste

na criação das coordenadas UV para cada vértice da malha tridimensional. A definição dessas coordenadas pode ser feita através do desdobraimento da malha poligonal em função de costuras definidas na malha tridimensional. Estas costuras podem ser feitas manualmente ou através da utilização de alguma técnica computacional. O desdobraimento da malha faz com que os polígonos da malha sejam projetados em uma imagem 2D, denominada Mapa UV. Uma vez que a malha está aberta, a textura pode ser criada individualmente para cada polígono, com o mapa UV sendo usado como modelo. Quando a cena é renderizada a textura é aplicada em cada triângulo de forma adequada [Mullen, 2009].

Na Figura 23 pode-se observar os passos do processo de texturização UV em uma malha quadrangular de uma esfera, onde a costura é definida no círculo de maior raio que corta a esfera longitudinalmente.

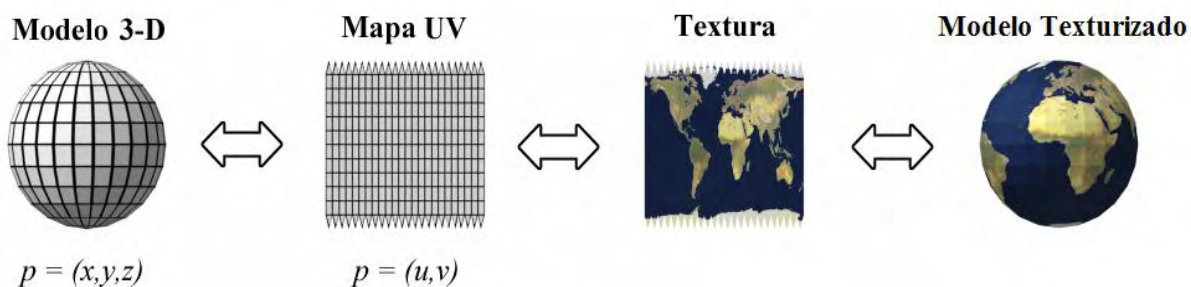


Figura 23 - Exemplo do processo de texturização UV em uma malha quadrangular de uma esfera

A texturização UV é suportada pela ferramenta de modelagem 3D Blender. O Blender permite a definição das costuras pelo usuário, cria automaticamente o mapa UV de acordo com as texturas definidas, permite a exportação do mapa UV para edição em uma ferramenta gráfica externa (como Paint ou Photoshop) e realiza a renderização do objeto tridimensional texturizado.

4.2.2 Texturização no framework CyberMed

Quando do início deste trabalho, a texturização não era suportada pelo *framework* CyberMed. Tal técnica era possível de implementada já que a API gráfica

utilizada pelo CyberMed, a OpenGL provê o suporte à texturização. Desta forma, foi incrementado o módulo de visualização do CyberMed para o suporte à texturização e foi inserida no *framework* a possibilidade de texturização UV.

A técnica de texturização UV com CyberMed acontece a partir de três passos. Primeiramente realiza-se os passos de abertura da malha, definição da textura e aplicação da textura no modelo tridimensional com o *software* Blender. Em seguida exporta-se o modelo texturizado para o formato VRML. Finalmente, indica-se para o CyberMed o arquivo VRML contendo as coordenadas de textura (geradas automaticamente pelo Blender) e a imagem referente a textura (previamente editada em um programa de edição de imagens como o GIMP ou o Paint). O arquivo de imagem contendo a textura deve ter altura e largura iguais e em potência de dois (2x2, 4x4, 8x8, 16x16, 32x32...), deve ser em formato BMP (limitação imposta pelo método de texturização adicionado ao CyberMed) e deve ter profundidade de 24 bits (8 bits para a camada vermelha, 8 bits para a camada verde e 8 bits para a camada azul da imagem). Desta forma o CyberMed encarrega-se da leitura do arquivo VRML e da aplicação da textura indicada ao modelo tridimensional adequado de acordo com as coordenadas de textura definidas no modelo VRML.

4.2.3 Texturização dos modelos do SITEG

A texturização no SITEG foi utilizada em dois modelos, no modelo da vagina, para a representação de bolhas e úlceras no caso de herpes externa, e no modelo do colo do útero, para a representação das várias situações possíveis de serem visualizadas na realização do exame ginecológico. Na Figura 24 pode-se observar o processo de texturização do modelo do colo útero, nela pode ser observado o modelo tridimensional do colo do útero com uma costura definida para a abertura da malha, o mapa de textura resultante do corte da malha, uma textura criada com a ferramenta de edição GIMP para o mapa de textura do colo do útero e o modelo tridimensional texturizado.

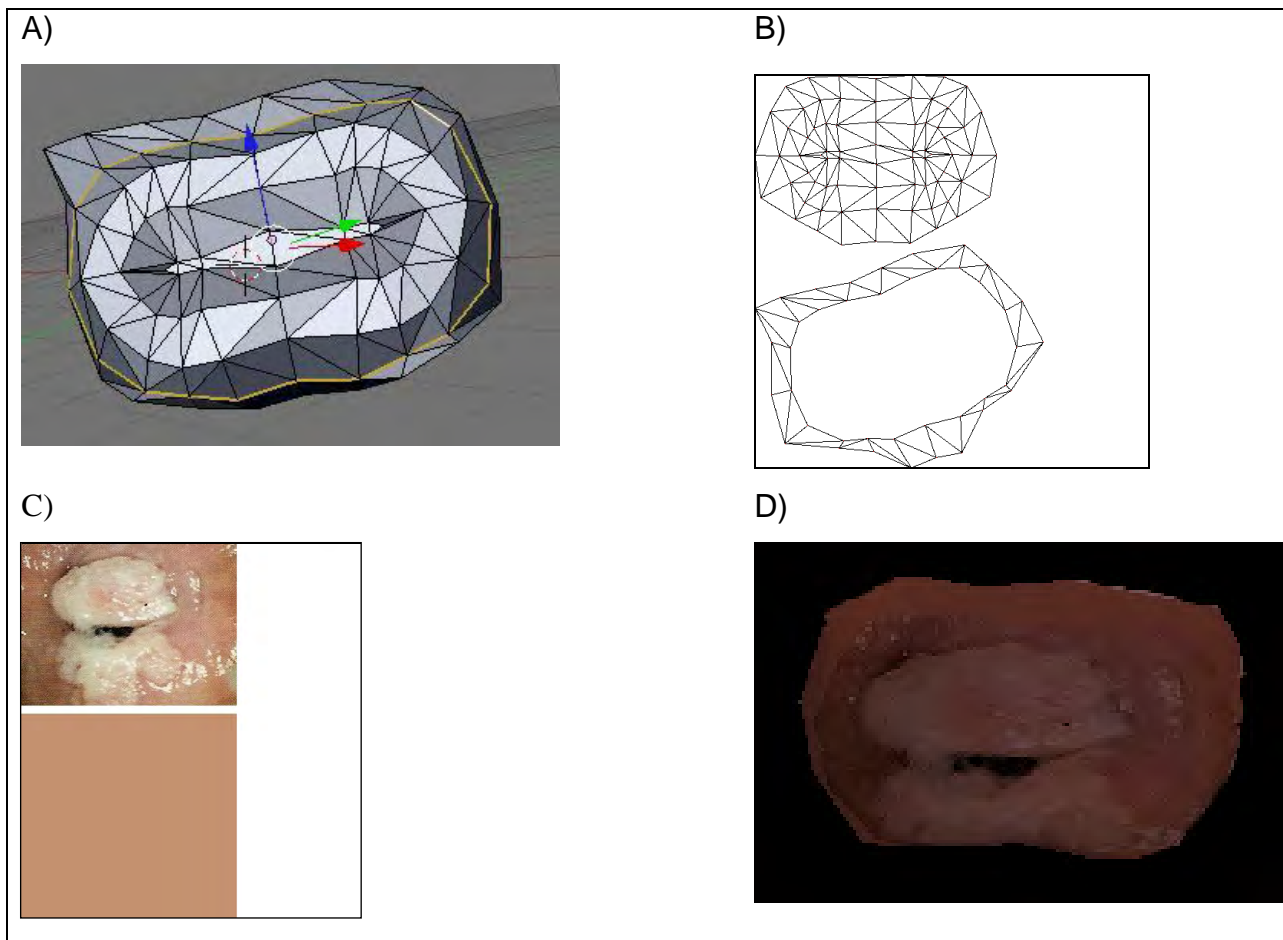


Figura 24- Processo de texturização do modelo do colo útero. A) Definição de costura para abertura da malha e B) mapa de textura gerado, C) Textura de dimensões 512x512 criada com a ferramenta de edição GIMP e D) Modelo do colo do útero texturizado no SITEG.

As imagens de textura são de dimensões 512x512 e foram todas editadas com a ferramenta de edição GIMP. Todas as texturas utilizadas no SITEG podem ser observadas no Anexo II deste documento. Neste ponto é importante ressaltar que as imagens base das texturas utilizadas no SITEG foram realizadas em livros e artigos de medicina e as texturas foram escolhidas pela especialista que auxiliou o desenvolvimento do SITEG.

4.3 Adição ao módulo de avaliação do CyberMed

O *framework* CyberMed possui módulos que oferecem suporte à visualização

monoscópica e estereoscópica por multiplexação espectral, temporal e polarizada, além de oferecer suporte à interação háptica, detecção de colisão, deformação das malhas, rastreamento de movimentos, colaboração entre usuários e avaliação das ações do usuário. O módulo responsável por realizar a avaliação das ações do usuário é o módulo Assess (em destaque na Figura 25). Este módulo realiza a separação da coleta e avaliação dos dados em uma *thread* concorrente à de visualização, a fim de não comprometer o requisito de tempo real necessário para o sucesso da simulação. Ele ainda possui implementação de dois avaliadores baseados em máxima verossimilhança e redes Bayesianas e define uma interface comum que deve ser adotada para a inclusão de novos métodos de avaliação.



Figura 25 - Estrutura de módulos do CyberMed com destaque para o módulo Assess responsável por realizar a avaliação das ações do usuário. Adaptado de [Santos, 2010].

O sistema de avaliação proposto para o SITEG (detalhado na Seção 3.5.5) baseia-se na construção de sistemas especialistas *fuzzy*, que não eram suportados pelo CyberMed. A solução para esta dificuldade foi feita com a adição do suporte à sistemas especialistas *fuzzy* no CyberMed, mediante a inclusão do submódulo *fuzzy* ao módulo Assess do *framework*.

Neste contexto, é sabido que há pacotes de *software* que incluem funcionalidades relacionadas à construção de sistemas especialistas baseados em lógica *fuzzy*, como: o MatLab[MathWorks, 2010], o SciLab[SciLab, 2010], o FFLL[FFLL, 2010] e o JFuzzyLogic[JFuzzyLogic, 2010]. No entanto, todos estes têm características que impossibilitavam sua utilização no contexto deste trabalho. O MatLab é um pacote

de *software* proprietário, o FFL foi descontinuado em 2003, o JFuzzyLogic é implementado em Java (o que requereria um esforço extra para integrá-lo ao CyberMed) e o SciLab é um pacote muito extenso, cujas funcionalidades extrapolam as necessidades deste trabalho e que precisaria ser estudado a fundo para ser integrado ao CyberMed.

Desta forma, a solução tomada foi a integração ao CyberMed de um submódulo para a construção de sistemas especialistas *fuzzy*, utilizando a linguagem C++, que provê suporte à definição de variáveis linguísticas e à elaboração de um conjunto de regras *fuzzy* que vão atuar sobre essas variáveis. O fato de ser a linguagem nativa do CyberMed foi o fator principal para a escolha da linguagem C++ para a implementação do módulo *fuzzy*. Outro aspecto importante do C++ é fato de sua aritmética de ponteiros e otimizações matemáticas permitir a construção de um avaliador computacionalmente eficiente. Tal eficiência é um requisito primordial, sobretudo na construção de avaliadores que devem oferecer o resultado de forma *on-line* ao usuário. Pode-se observar na Figura 26 um diagrama dos pacotes do submódulo implementado.

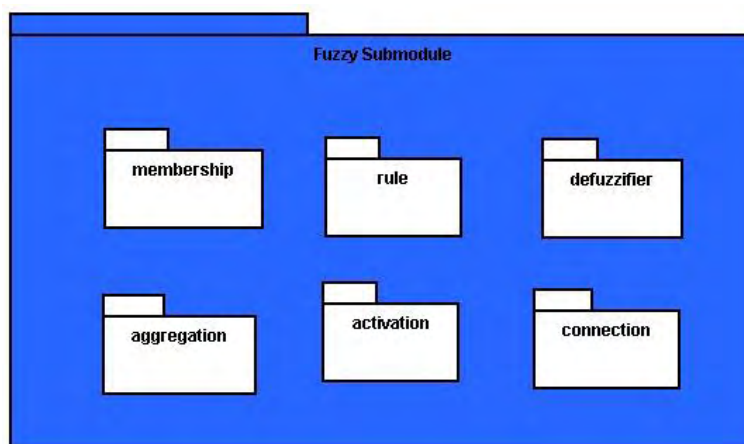


Figura 26- Diagrama dos pacotes do submódulo para a construção de sistemas especialistas *fuzzy*.

O módulo de avaliação (Assess) integrado ao CyberMed segue um padrão que deve ser observado na incorporação de novos métodos de avaliação ao CyberMed. Tal padrão é estabelecido pela definição de uma interface comum entre os vários métodos de avaliação implementados no *framework* e pela definição de uma forma padronizada de realizar a saída e entrada dos dados no módulo de avaliação.

Na implementação do submódulo para a construção de sistemas especialistas *fuzzy* foram concebidas duas classes (CybFuzzyLogic e CybFuzzyIO) para fazerem a ligação entre o submódulo de lógica *fuzzy* e o módulo Assess do CyberMed. A classe CybFuzzyIO controla a entrada e saída de dados do avaliador, além de definir os métodos para persistir e recuperar os dados da avaliação. A classe CybFuzzyLogic define os métodos para realizar a avaliação dos dados, observando o padrão de multithreading do módulo Assess e realiza a ligação entre os dados que serão captados pelo CyberMed e transmitidos para o sistema especialista *fuzzy*. O diagrama de classes do módulos assess do CyberMed pode ser observado na Figura 27, com destaque para as classes e o submódulo adicionado.

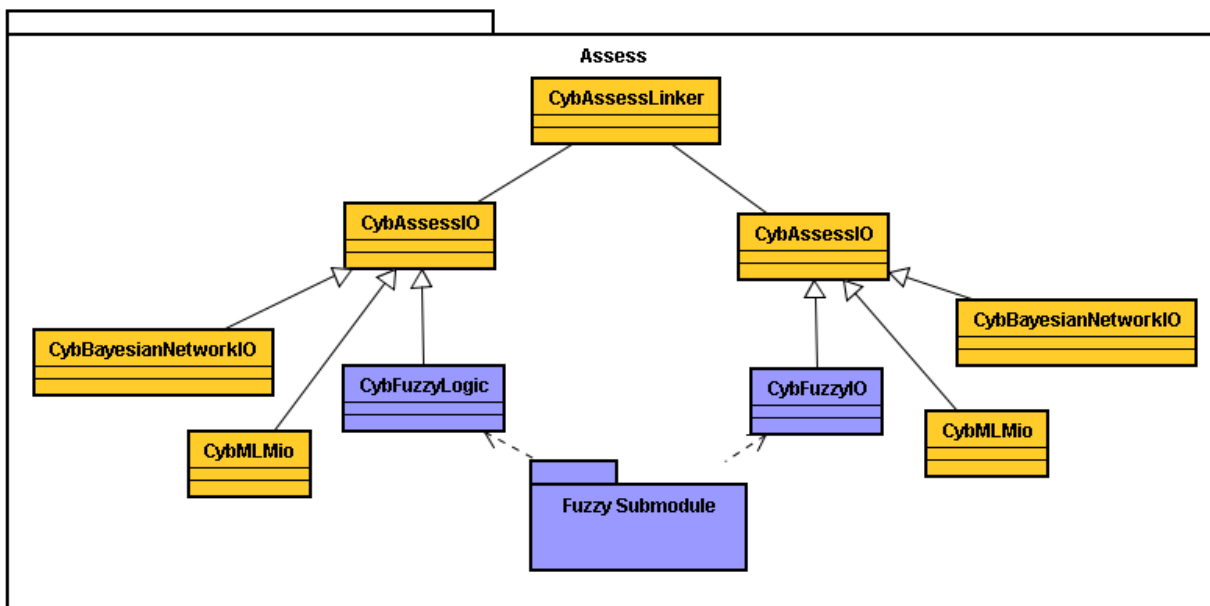


Figura 27 - Diagrama de classes do módulo Assess, com destaque para as classes e para o submódulo adicionadas.

O submódulo para a construção de sistemas especialistas *fuzzy* adicionado ao CyberMed permite a criação de sistemas especialistas baseados em lógica *fuzzy*. Com este método é possível a criação de variáveis lingüísticas e de funções de pertinência associadas, de forma trapezoidal ou triangular. Estas formas foram escolhidas por serem frequentemente utilizadas no desenvolvimento de sistemas especialistas. Utilizando este critério de utilização freqüente no desenvolvimento de sistemas

especialistas, o submódulo *fuzzy* permite a utilização dos operadores t-norma min e t-conorma max para a realização das operações AND e OR, do operador de implicação de Mamdani e da estratégia de defuzzificação pelo centro de área. É importante ressaltar que a implementação do submódulo *fuzzy* permite a adição de novas características futuramente, como novas formas de funções de pertinência ou novas t-normas, t-conormas, operadores de implicação e estratégias de defuzzificação.

A inclusão da possibilidade de construção de sistemas especialistas em lógica *fuzzy*, não só permitiu a implementação do método de avaliação proposto para o SITEG, como aumentou o espectro de possibilidade das aplicações construídas com o *framework* CyberMed. Testes estatísticos realizados acerca da acurácia e eficiência computacional do método implementado foram detalhados em Santos (2010a) e (2010b). A construção de sistemas especialistas *fuzzy* está disponível na versão 1.6 do *framework* CyberMed.

4.4 Implementação dos módulos do SITEG

Uma vez que o CyberMed foi incrementado de forma a incluir as características necessárias para o desenvolvimento do SITEG, com a adição de texturização e avaliação baseada em lógica *fuzzy*, foi realizada a implementação dos módulos do SITEG.

4.4.1 Gerente de casos

Uma vez definidas as situações simuladas pelo SITEG (JEC visível e invisível, cistos de Naboth, condiloma, leucoplasia, colpíte e Herpes, definidas na Seção 3.2), foi necessária a montagem de um diagrama para a ligação entre estas situações e as etapas do exame ginecológico (Figura 28). Neste ponto é importante ressaltar que a construção deste diagrama foi embasado por informações foram extraídas da especialista.

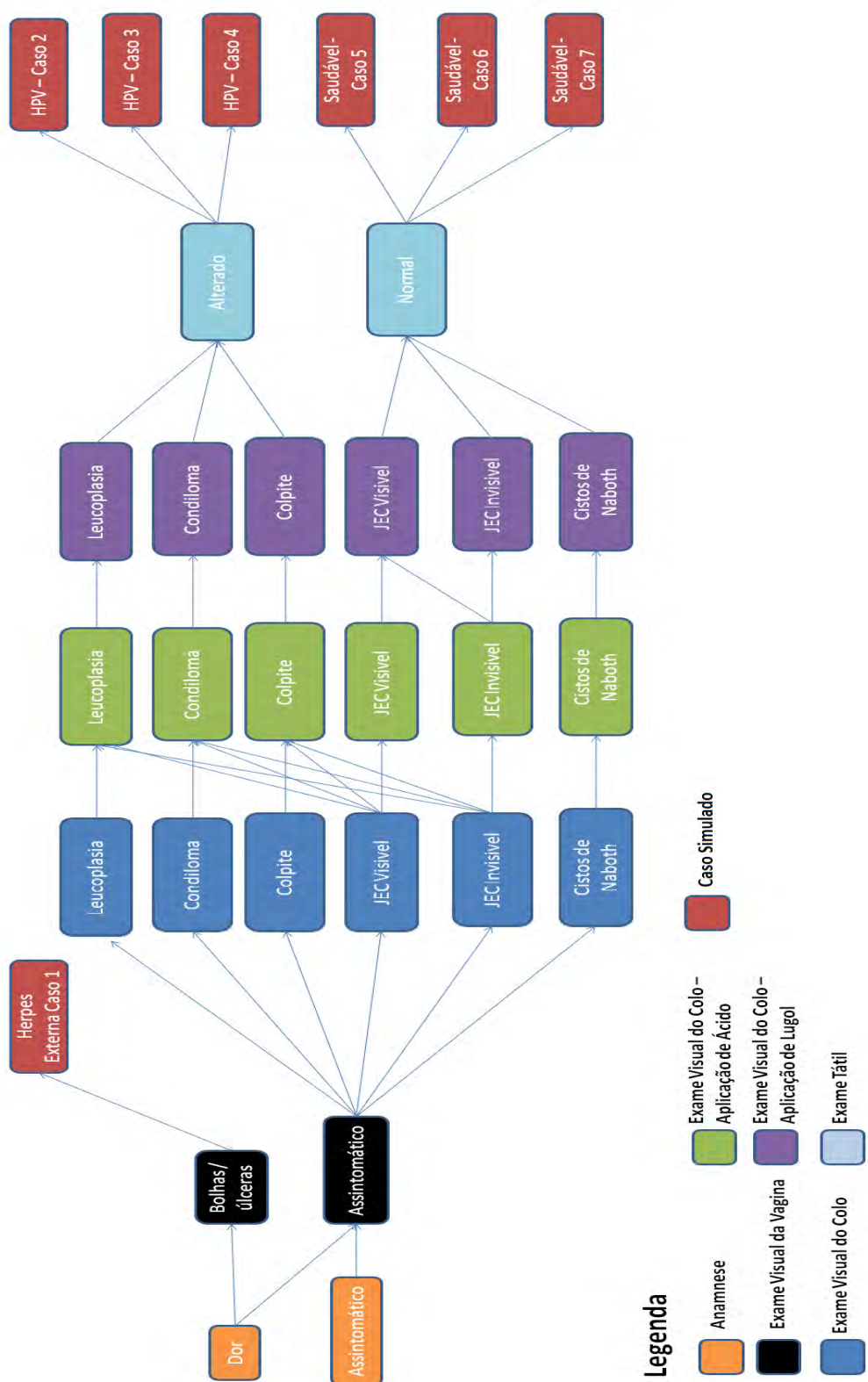


Figura 28 – Detalhamento das etapas do exame ginecológico de acordo com as situações simuladas no SITEG.

Na Figura 28 podem-se observar as etapas do exame ginecológico simulado no SITEG e situações simuladas no SITEG. A primeira etapa é a anamnese, onde é possível identificar pacientes que alegam dores ou incômodos. Na etapa de exame visual da vagina é possível a identificação de bolhas ou úlceras vaginais que indicam a presença de Herpes Vaginal. Neste caso o exame deve ser encerrado imediatamente e devem ser indicadas condutas adequadas. Na etapa de exame visual do colo, é possível a identificação das seguintes situações: leucoplasia, condiloma, colpíte, JEC visível ou Invisível e cistos de Naboth. Dependendo da gravidade da lesão e do caso específico da paciente pode ser possível a visualização de determinadas situações apenas depois da aplicação do ácido ou do lugol. Na etapa de exame tátil, é possível a identificação do colo na sua condição normal ou alterado (que pode ser enrijecido ou friável).

De posse do detalhamento das etapas e relações entre as situações simuladas no SITEG, foi possível a definição dos casos a serem simulados de acordo com cada situação específica. Essa definição se deu de acordo com as relações definidas na Figura 28 e através da escolha de variações para cada situação. Por exemplo, para cada vagina saudável há três possibilidades de coloração da pele (clara, parda e escura), enquanto que para a situação de colo com JEC visível há duas possibilidades (colo róseo e pouco avermelhado). A introdução dessas variações adicionou realismo ao simulador, através do oferecimento de um espectro mais abrangente de casos. Na Figura 29 pode-se observar o detalhamento da situação de colo JEC visível.

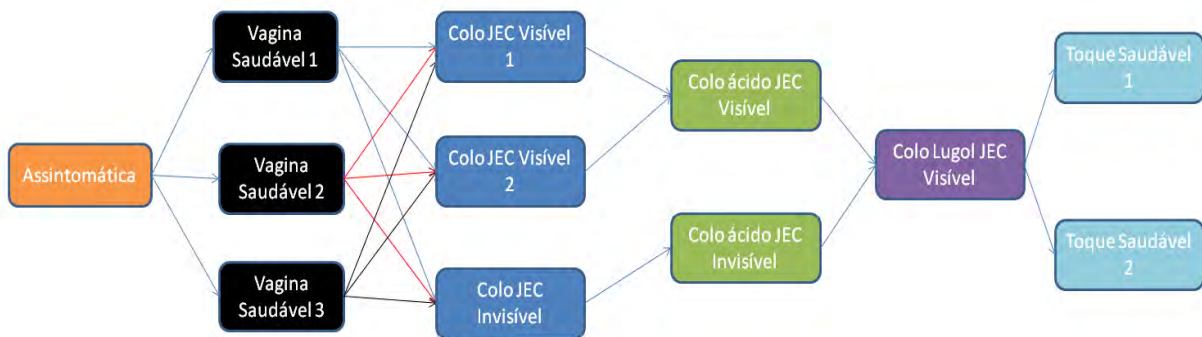


Figura 29 - Detalhamento das etapas da situação de Colo JEC visível.

Através da definição do detalhamento para cada situação foi possível a definição de quantos casos seriam simulados para cada situação. Por exemplo, a análise da Figura 29 nos permite observar que há 18 casos para a situação JEC Visível. Na Tabela 8, pode-se observar o número de casos simulados para cada situação.

Tabela 8 - Quantidade de casos simulados total e por cada situação.

Situação	Nº de Casos
JEC Visível	18
JEC Invisível	12
Cistos de Naboth	12
Leucoplasia	24
Condiloma	24
Colpite	24
Herpes Vaginal	6
Total	120

Uma vez definida a quantidade de casos simulados, foi necessária a definição de uma estrutura para o armazenamento dos dados associados a cada caso simulado. Esta estrutura deve oferecer acesso rápido aos dados da simulação, a fim de não comprometer a eficiência computacional do sistema e deve ser simples para que possam ser excluídos e adicionados casos de forma simples no sistema. Desta forma

foi escolhida a utilização de um arquivo texto simples no formato txt. A escolha deste tipo de estratégia para persistência de dados, apesar de não fornecer as propriedades básicas de integridade de transações fornecidas por bancos de dados (atomicidade, consistência, isolamento e durabilidade), é adequada para o SITEG, visto que o número de casos já era previamente conhecido e que um dos requisitos da estratégia de pertinência era que casos pudessem ser adicionados da forma mais intuitiva possível. Neste intuito foi definida uma estrutura que o arquivo de persistência deve obedecer para a representação dos casos. Nesta estrutura, que pode ser observada na Figura 30, o usuário define o número do caso (precedido por #), os caminhos para as texturas do colo “cru”, do colo após a aplicação de lugol e após a aplicação de ácido. Ainda é definida a textura a ser aplicada na vagina (se existir), as propriedades hápticas do modelo do colo do útero, os valores R,G,B da vagina e o texto representando a anamnese com a paciente. O caracter “!” indica fim dos dados relativos ao caso #N.

```
#N
/texture/path/colo/cru
/texture/path/colo/lugol
/texture/path/colo/acido
/texture/path/vagina
|stiffness damping static_friccion dynamic_friccion popthrough
r g b a -- vagina
ANAMNESE
!
```

Figura 30 - Estrutura do arquivo que armazena os casos a serem simulados no SITEG

Com o início da execução do SITEG a classe responsável pela gerência de casos “CaseManager”, acessa o arquivo contendo os dados relativos aos casos simulados e carrega os dados de acordo com o número do caso que lhe é passado. O número do caso é um número aleatório entre 1 e 120, no caso da realização de um treinamento, ou um número correspondente a um caso específico no caso da realização de um estudo. Com a carga dos dados, eles são repassados ao módulo de visualização e ao módulo de interação para que a simulação seja feita com os dados adequados.

4.4.2 Módulos de visualização e interação

As aplicações desenvolvidas com OpenGL utilizam chamada em loop da rotina responsável pela visualização. Desta forma a definição de questões de interação, como redimensionamento da janela gráfica, exibição de menus e tratamento de *mouse* são associadas à rotina de visualização. Neste contexto, os módulos de interação e visualização foram separados no SITEG por uma questão conceitual, contudo o gerenciamento tanto das rotinas de visualização como dos métodos de interação são feitos pela mesma classe, a ViewManager. Na Figura 31 pode-se observar o diagrama de classes dos módulos de visualização e de interação do SITEG.

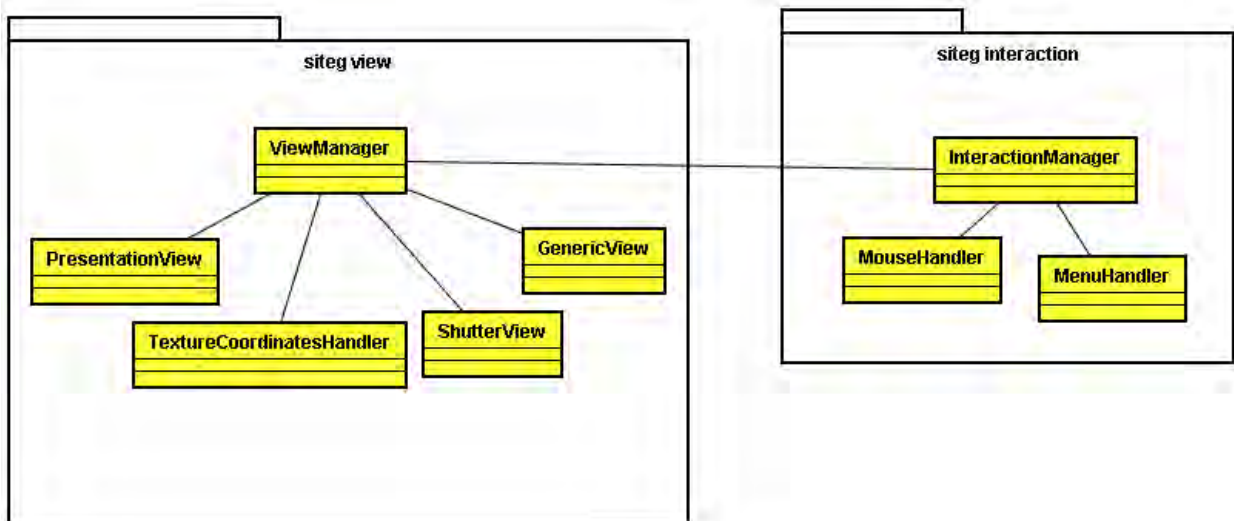


Figura 31 - Diagrama de classes dos módulos de visualização e interação do SITEG.

No módulo de visualização a classe ViewManager define aspectos comuns às classes de visualização (PresentationView, GenericView e ShutterView), como o redimensionamento da janela gráfica, a carga das texturas e dos modelos tridimensionais e a calibração do dispositivo háptico. As classes PresentationView, GenericView e ShutterView possuem métodos para o desenho das cenas gráficas do SITEG. Estas classes foram construídas como extensões da classe de desenho do CyberMed (Cyb3DWorld) e nelas são definidos todos os aspectos relacionados ao desenho das cenas gráficas, como: definição de projeções utilizadas, delimitação de

viewports, aplicação de transformações geométricas sobre os modelos, aplicação de texturas e definição de iluminação. A classe *PresentationView* trata do desenho do modo de apresentação, enquanto as classes *GenericView* e *ShutterView* tratam do desenhos dos modos de estudo e treinamento com ou sem a utilização de visualização estereoscópica. A classe *TextureCoordinatesHandler* trata da carga das coordenadas geradas pelo mapa de texturização UV para a aplicação de texturas.

No módulo de interação a classe *InteractionManager* define variáveis de controle que serão utilizadas para o gerenciamento da aplicação. Nesta classe é armazenado, por exemplo, o modo atual do sistema (estudo, apresentação ou treinamento) e a etapa corrente da realização do exame. A classe *MenuHandler* gera e gerencia todos os menus do sistema. Os menus são responsáveis pelo envio de mensagens ao sistema disparadas pelo usuário, dentre essas mensagens, inclui-se mudanças de modo no sistema, acesso do menu de ajuda e as mudanças de etapa no exame ginecológico. A classe *MouseHandler* é uma extensão da classe *CybMouse* e define as funções que serão chamadas quando ocorrerem eventos do mouse, como cliques com botão direito ou esquerdo ou arrasto do mouse.

4.4.3 Módulo de avaliação

O módulo de avaliação do SITEG foi construído através da extensão do módulo *Assess* do *CyberMed* (detalhado na Seção 4.3). Desta forma, as classes foram construídas como especializações das classes do módulo do *CyberMed*. Pode-se observar o diagrama de classes do módulo de avaliação do SITEG na Figura 32.

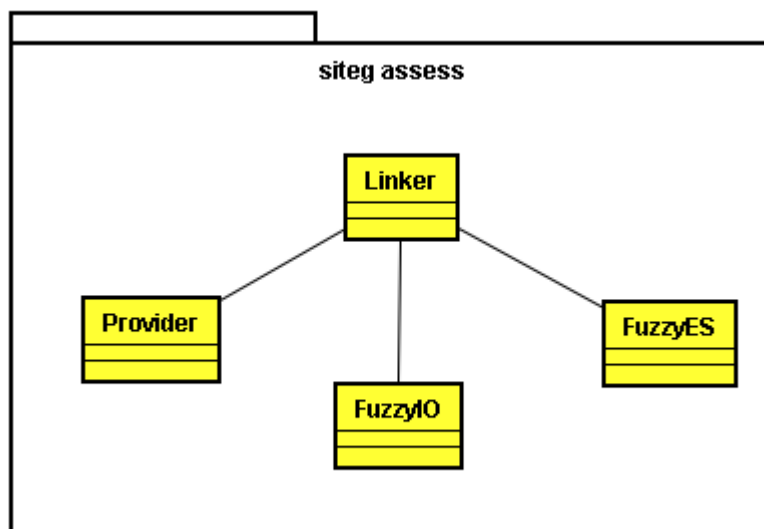


Figura 32 - Diagrama de classes do módulo de avaliação do SITEG.

A construção deste módulo foi embasado pela definição do sistema de avaliação do SITEG (Seção 3.5.5). Neste sentido, a classe Linker (uma extensão de CybAssessLinker) define os parâmetros de ligação com o CyberMed. Ela é responsável por conectar os dados relevantes para a avaliação (providos pela classe Provider) do sistema ao objeto de avaliação (definido pela classe FuzzyES). Esta classe ainda promove a persistência dos dados colhidos a fim de persistir as entradas e o resultado do sistema especialista. A classe Provider (uma extensão da classe CybAssessProvider) define como os dados serão providos para o sistema especialista. De acordo com o momento do exame esta classe capta os dados de posição ou de força do dispositivo háptico e os repassa para a classe Linker. A classe FuzzyES (extensão de CybAssessFuzzy) caracteriza o sistema especialista. Nela são definidas as variáveis linguísticas, as funções de pertinência, as regras, o método de defuzzificação e implicação utilizados no sistema. A classe FuzzyIO (extensão de CybFuzzyIO) define um método para persistir os dados da avaliação e para fornecer ao usuário o relatório de sua avaliação.

É importante ressaltar que neste módulo foram utilizados os parâmetros para o sistema especialista definidos no projeto do sistema de avaliação do SITEG, detalhado na Seção 3.5.5. Desta forma são implementadas as variáveis linguísticas com funções de pertinência de forma trapezoidal ou triangular, são utilizados os operadores t-norma

min e t-conorma max para a realização das operações AND e OR, é utilizado o operador de Mamdani para realização da implicação, a t-conorma max para a realização da agregação e é utilizada a estratégia de defuzzificação pelo centro de área. As variáveis com suas respectivas funções de pertinência bem como as regras implementadas neste módulo podem ser observadas, respectivamente, nos Anexos III e IV deste documento.

5 Resultados

Este Capítulo tem como objetivo demonstrar o funcionamento do SITEG destacando os resultados oriundos do que foi discutido no projeto do sistema (Capítulo 3) e no desenvolvimento do mesmo (Capítulo 4). Além disso, também neste Capítulo, são discutidos os testes realizados com o sistema especialista associado ao SITEG.

5.1 Validação do SITEG

A primeira avaliação feita com o SITEG foi realizada por uma especialista na realização do exame ginecológico. Para esta avaliação foi formulado um questionário contendo nove perguntas associadas à correta compreensão do que está sendo simulado no sistema, que deveriam ser respondidas de forma objetiva (sim ou não). A especialista em exame ginecológico apreciou as diversas características do sistema, bem como a sua totalidade através desse breve questionário. Nesta avaliação, a especialista relatou que o fato de ser possível treinar em um simulador virtual desperta motivação, uma vez que o sistema oferece um ambiente tridimensional e interativo. O questionário aplicado pode ser observado no Anexo V deste documento.

A especialista respondeu de forma positiva a 18 dos 21 questionamentos do questionário de avaliação. Suas respostas indicam a correta representação visual das estruturas tridimensionais e das situações apresentadas ao usuário, bem como relata que o movimento realizado na etapa de coleta é semelhante ao realizado no exame real. A especialista ainda avaliou de forma positiva os textos apresentados no sistema, tanto os descritivos das etapas apresentados no modo de estudo, como os relativos à queixa da paciente apresentados no modo de treinamento.

As três respostas negativas da especialista relataram uma dificuldade associada à etapa de palpação do exame simulado. Neste ponto a especialista alegou dificuldade em identificar as características hápticas das paredes vaginais. Atribui-se esta dificuldade a uma série de fatores, tais como: a pouca experiência na utilização do dispositivo háptico por parte da especialista quando da calibração do sistema, a diferença de empunhadura na utilização do dispositivo e na realização do exame real e a característica notadamente mais pessoal das impressões táteis se comparadas às impressões visuais, por exemplo. Acredita-se que estes fatores tenham resultado em

uma calibração não totalmente adequada das características hápticas do sistema, o que poderia ser contornado com a utilização e treinamento de mais profissionais para a modelagem das características hápticas do exame de palpação.

Acerca do sistema de avaliação, a validação foi realizada apenas para a situação “saudável JEC visível”. Este fato ocorreu devido a esta situação ter sido a única a ter passado por todos os testes antes da validação com o especialista. Nesta etapa requereu-se que a especialista realizasse treinamentos aleatórios no sistema para a observação do relatório de sua avaliação. Neste ponto a especialista realizou duas interações descritas pelo sistema especialista como corretas e uma interação descrita como pelo sistema especialista muito boa. Em seguida requereu-se que a especialista realizasse o treinamento cometendo propositalmente falhas que comprometeriam a realização do exame real. Neste ponto a especialista realizou duas interações descritas pelo sistema especialista como muito ruim, uma descrita como ruim e outra descrita como regular. Em todos os casos no qual o exame não foi realizado corretamente o sistema especialista indicou aonde teriam sido cometidos os erros pela especialista. A especialista concordou com todas as informações dos relatórios de avaliação que foram criados para as suas interações e respondeu positivamente ao questionamento sobre a capacidade do sistema de avaliação de avaliar a interação do usuário e detectar aonde foram realizados os erros na realização do procedimento.

De uma forma geral o sistema foi considerado adequado pela especialista sendo considerado adequado na recriação da experiência da realização do exame ginecológico. As características visuais do sistema, como modelos tridimensionais, iluminação e texturas foram citados como ponto forte do sistema pela especialista.

A validação do sistema detectou a necessidade de um esforço maior na modelagem das características hápticas na etapa tátil do exame, no sentido de conseguir extrair de forma mais adequada da especialista as informações hápticas para calibração do sistema. Outro trabalho futuro é a realização da validação do sistema de avaliação para as outras situações que ainda não foram validadas. Uma discussão sobre os testes realizados com o sistema de avaliação do SITEG é realizada na Seção 5.3, enquanto a discussão sobre os trabalhos futuros é realizada na Seção 6.3.

5.2 Resultados do simulador virtual

Na Figura 33 pode-se observar a tela inicial do sistema (modo de apresentação), na Figura 34 observa-se o menu de ajuda no modo de apresentação e na Figura 35 a inicialização do modo de treinamento, que pode utilizar visualização estereoscópica, ou não.



Figura 33- Visualização do SITEG no modo de apresentação.

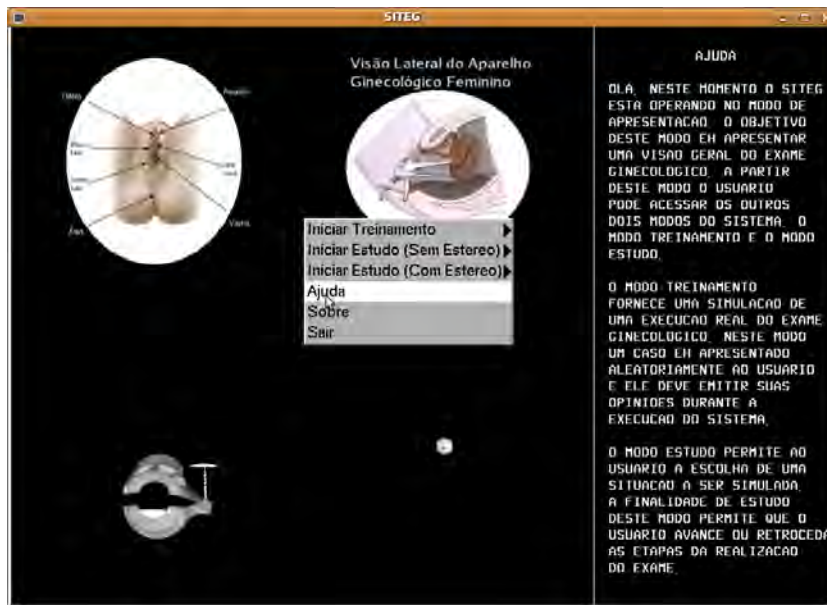


Figura 34 - Menu Ajuda do modo de apresentação do SITEG.

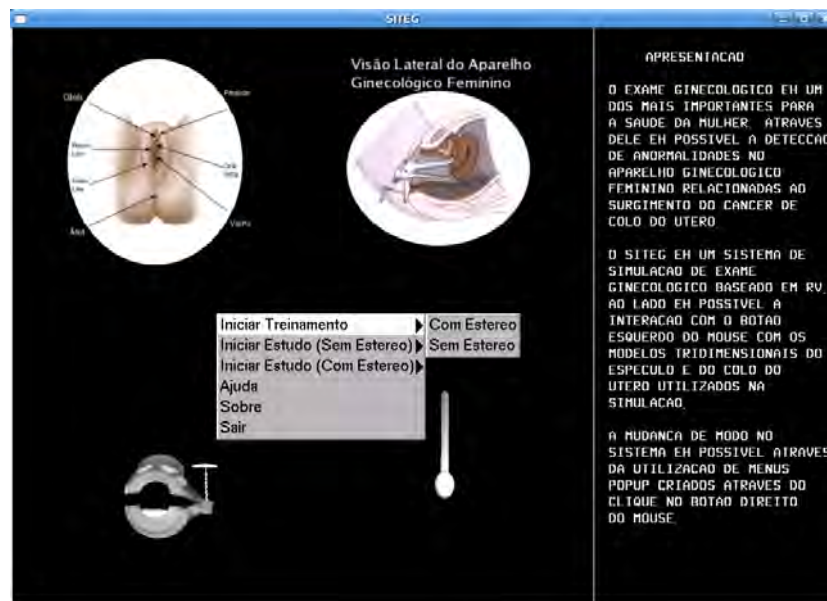


Figura 35 - Mudança do modo de apresentação para o modo de treinamento.

Nas Figuras 36 a 40 podem-se observar vários pontos da execução do SITEG no modo de treinamento. Na Figura 36 o exame ginecológico está em sua etapa de exame visual externo, na qual o estudante deve observar o texto relativo à queixa da paciente e emitir a sua opinião sobre a genitália externa da paciente, se saudável ou se apresenta a presença de bolhas ou úlceras.

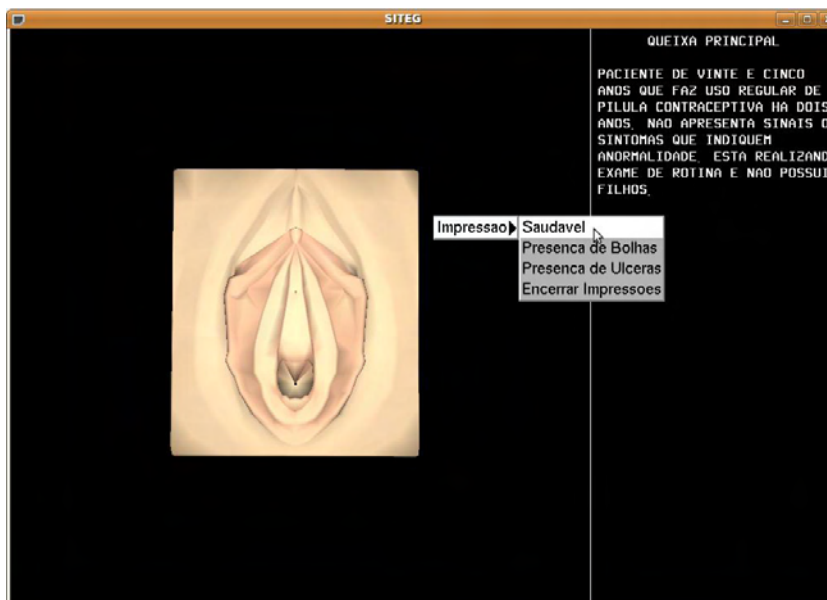


Figura 36 - Visualização da genitália externa no modo de treinamento.

Na Figura 37 o exame ginecológico está em sua etapa de exame visual interno, na qual o estudante deve observar o colo do útero em uma visualização a olho nu com o espécuro inserido na paciente. Nesta etapa é requisitado que ele emita a sua opinião parcial acerca da visualização do colo da paciente, se o mesmo está saudável (apresentando JEC visível, invisível ou cistos de naboth) ou se o mesmo apresenta alguma anormalidade (leucoplasia, condiloma ou colpíte). Nesta etapa o estudante pode ainda solicitar a realização da coleta de material para exame laboratorial, a aplicação de ácido acético ou a aplicação de lugol. Na Figura 38 pode-se observar o colo do útero após a aplicação do lugol. Observa-se ainda que, mais uma vez, é requisitada a impressão parcial por parte do estudante.

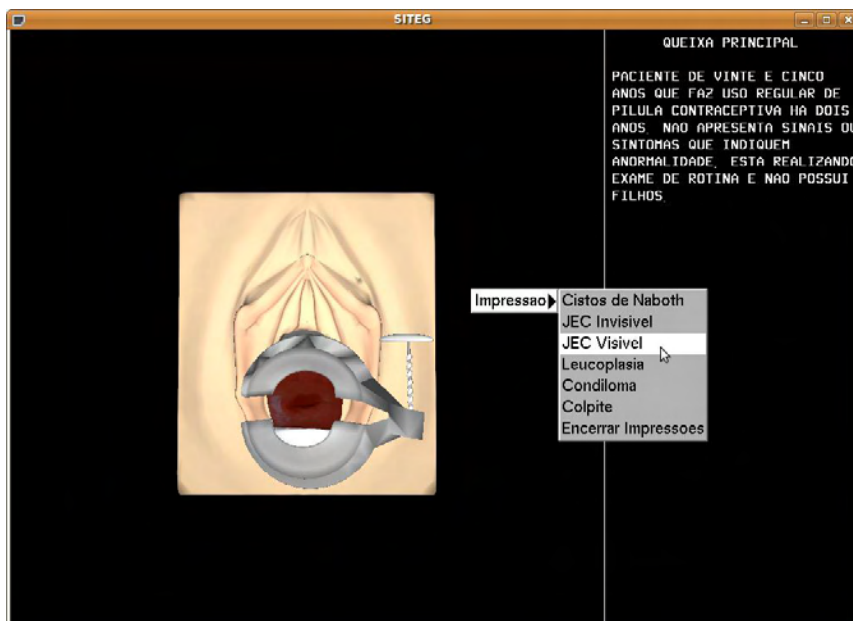


Figura 37 - Visualização do colo do útero no modo de treinamento.

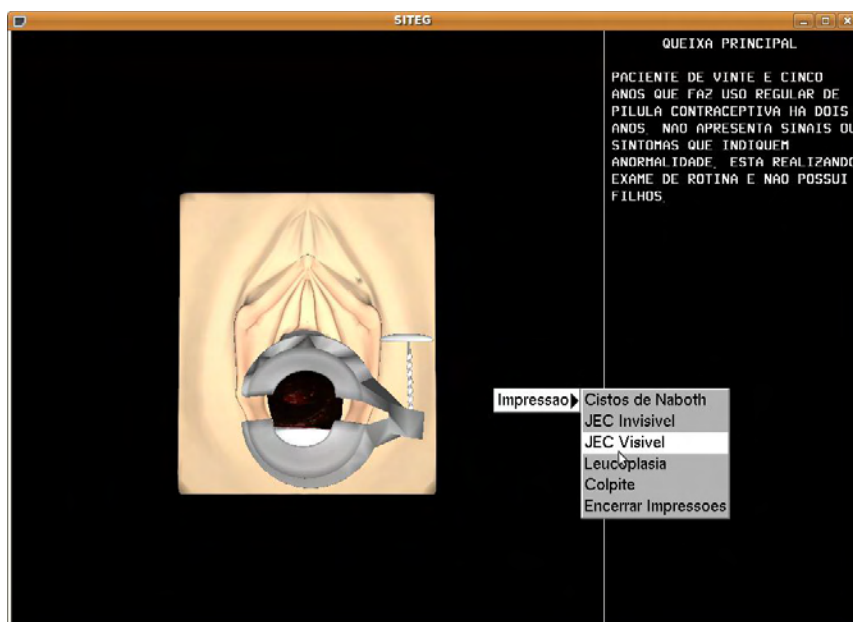


Figura 38 - Visualização do colo do útero após a aplicação de lugol. Modo de treinamento.

Após o encerramento do exame visual das estruturas internas da paciente é realizado o exame tátil na paciente. Na Figura 39, pode-se observar a realização do exame tátil da paciente com a utilização do dispositivo háptico para controle do interador (representando a mão do especialista).

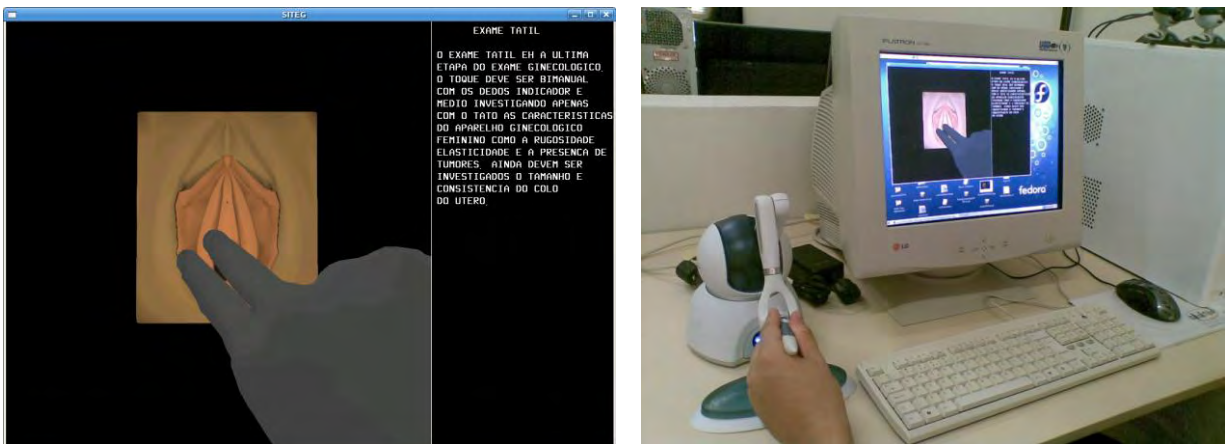


Figura 39 - Exame tátil da paciente com utilização de dispositivo háptico.

Na Figura 40, pode-se observar a última etapa da realização do exame ginecológico, a definição da conduta pelo médico. Uma vez finalizado o exame ginecológico o estudante deve definir a conduta adequada, dentre as possíveis, para o caso apresentado.

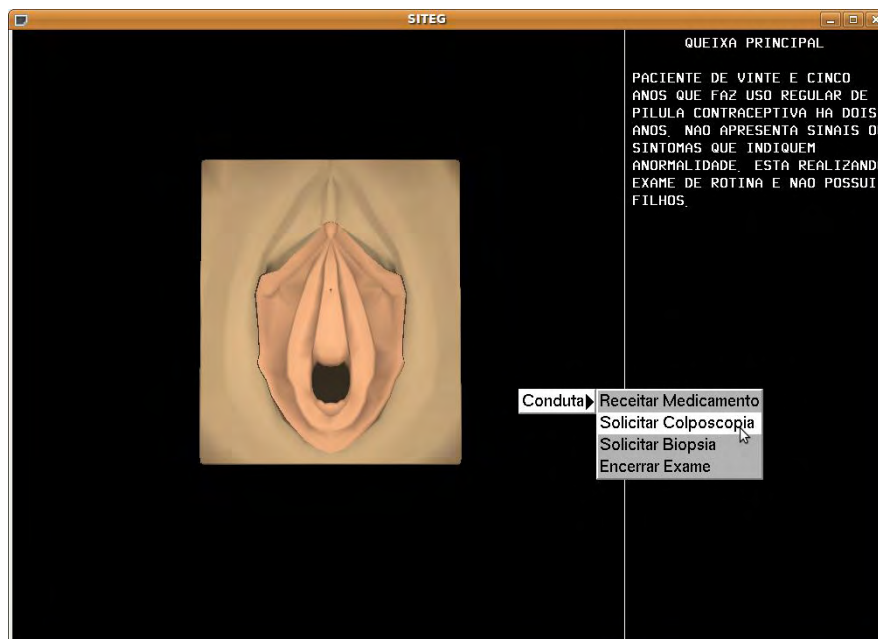


Figura 40 - Definição da conduta no SITEG.

Nas Figuras 41 a 43 podem-se observar alguns pontos da execução do SITEG no modo de estudo. Na Figura 41 pode-se observar a seleção do menu para a entrada no modo de estudo. Neste ponto é possível escolher as características hápticas

(saudável, enrijecido, friável) e visuais (JEC visível ou invisível, cistos de naboth, leucoplasia, condiloma, colpite ou herpes) que são apresentadas na simulação, além de escolher a presença ou ausência de visualização estereoscópica. Esta abordagem permite ao usuário do SITEG a observação de todas as características (visuais e táteis) na utilização do modo de estudo.



Figura 41 - Mudança do modo de apresentação para o modo de estudo.

Na Figura 42 pode-se observar a etapa de coleta de material no modo de estudo do SITEG. É importante ressaltar que, neste modo, não são requisitadas as emissões de impressão pelo usuário, dado que o objetivo deste modo é prover apenas estudo e não treinamento ao usuário. Ainda por este motivo, é possível que o usuário retroceda ou avance nas etapas do exame, sendo essas as únicas possibilidades existentes no menu de interação. Na Figura 43 observa-se a etapa de exame visual do colo com a aplicação de ácido acético, é interessante destacar que, no modo de estudo, o estudante observa textos na área lateral da janela de visualização que lhe informam sobre a etapa atual do exame e sobre a forma correta da realização dos procedimentos.

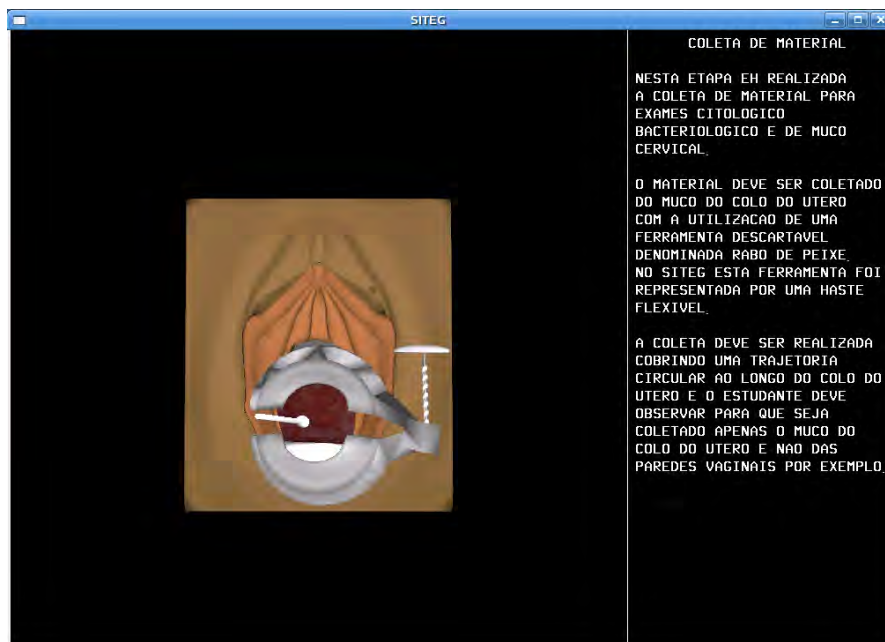


Figura 42 - Coleta de material no modo de estudo.



Figura 43 - Visualização do colo do útero após a aplicação de ácido acético. Modo de estudo.

O SITEG pode ser utilizado com ou sem visualização estereoscópica. No caso da escolha de visualização estereoscópica, devem ser utilizados óculos obturadores para a visualização tridimensional da cena gerada. Na Figura 44 pode-se observar uma execução do SITEG, com a utilização de óculos obturadores para a visualização

tridimensional da simulação.

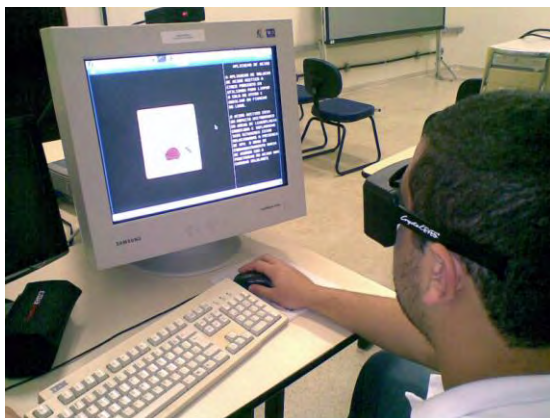


Figura 44 - Utilização do SITEG com visualização estereoscópica com óculos obturadores.

5.3 Resultados do sistema especialista

Com relação ao sistema especialista, foi elaborado um plano de testes que consistia em 3 fases. Primeiramente, foi testado o submódulo de avaliação *fuzzy* integrado ao *framework* CyberMed. Este módulo foi testado com um conjunto de regras de teste e com entradas geradas por amostragem estatística com distribuição normal, a fim de fornecer respostas quanto à acurácia e eficiência computacional do módulo implementado. Os resultados deste teste foram publicados em [Santos, 2010] e [Santos, 2010b] e concluíram que o módulo era acurado e eficiente o suficiente para a sua utilização em sistemas de simulação virtual.

A segunda fase dos testes consistiu na realização de testes comparativos entre o sistema especialista implementado no SITEG e um sistema especialista semelhante implementado no MatLab. Neste ponto, ambos os sistemas especialistas (o implementado no SITEG e o implementado no MatLab) foram submetidos a um conjunto de entradas representando situações prováveis de acontecer na realização do exame ginecológico. Em seguida foram comparados os resultados obtidos pelo sistema especialista implementado no MatLab e no SITEG, para a verificação da conformidade dos resultados.

A intenção com estes testes foi de verificar o funcionamento adequado do

sistema especialista do SITEG para várias situações possíveis de entrada, comparando seus resultados com os fornecidos por uma ferramenta já validada, o MatLab. Nesta fase cada conjunto de regras (referente a cada uma das situações simuladas) foi submetido a 47 testes, cobrindo situações possíveis de acontecer na simulação, e foram comparados os resultados obtidos pelo sistema especialista com os resultados esperados. Por exemplo, para o caso de acerto total, foi realizado um teste (todas as variáveis corretas), enquanto que para o caso de cobertura errada foram realizados três testes (cobertura média, ruim ou muito ruim). Na Tabela 9, pode-se observar a quantidade de testes a que foi submetido cada conjunto de regras no SITEG.

Tabela 9- Quantidade de testes realizados com o conjunto de regras do SITEG.

Teste	Quantidade de testes realizados
Acerto Total	1
Erro Total	1
Conduta correta	3
Cobertura errada	3
Força errada	3
Ordem errada	3
Impressao visual errada	12
Impressao tátil errada	3
Duas características erradas	8
Três características erradas	8
Total	47

Na Figura 45 pode-se observar a realização de um teste sobre o conjunto de regras para a situação Saudável JEC Visível. Este conjunto de regras foi implementado e testado no pacote MatLab. Os resultados observados nestes testes foram comparados com os resultados obtidos pelo mesmo conjunto de regras implementado no SITEG.

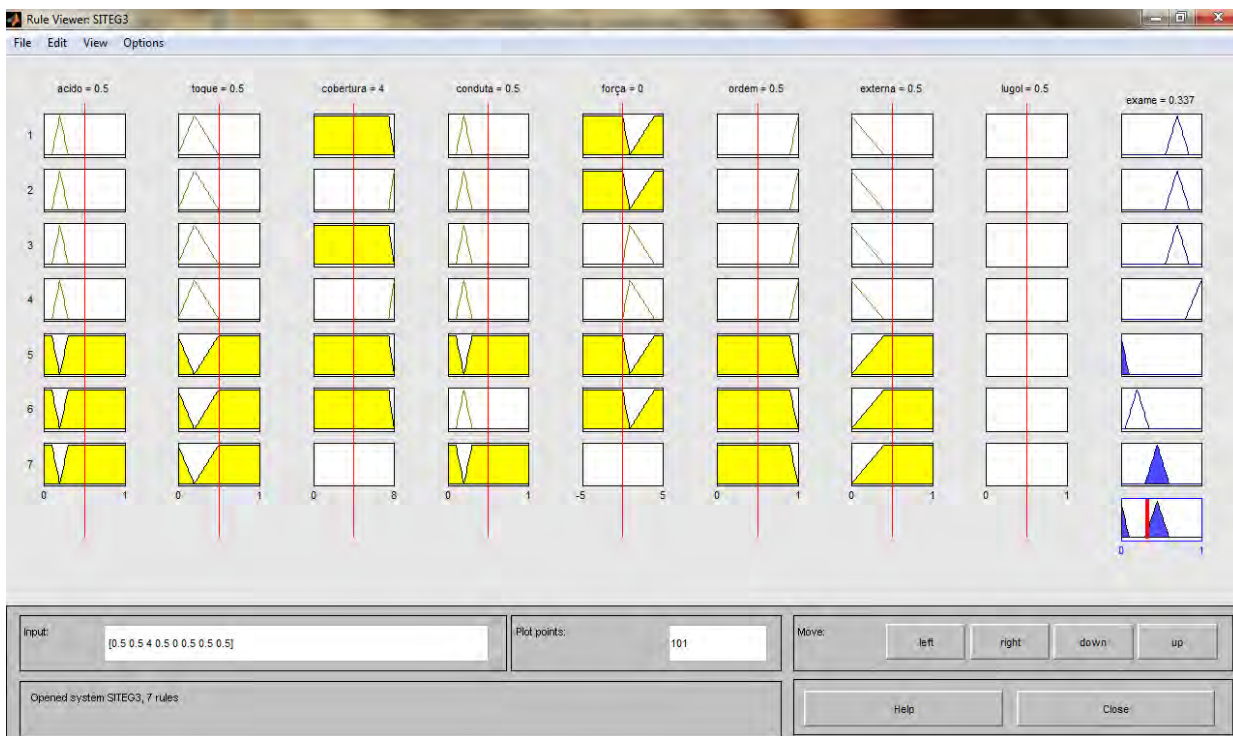


Figura 45 - Realização de testes com o sistema de avaliação do SITEG. Dados do teste (acido = 0.5, lugol = 0.5, cobertura = 4, conduta = 0.5, força = 0, exame = 0.337)

Uma vez verificada a conformidade dos resultados entre o sistema especialista implementado no SITEG e o implementado no MatLab, passou-se para a terceira fase do plano de testes. A terceira fase foi a validação do sistema especialista com uma especialista na realização do exame ginecológico. Neste ponto é importante lembrar que esta etapa foi realizada apenas para a situação “saudável JEC visível” devido a esta situação ter sido a única a ter passado por todos os testes anteriores antes da data da validação com a especialista. Atualmente já foram finalizadas as duas primeiras fases de testes com as regras referentes às outras situações simuladas no SITEG e a sua validação com a especialista é um dos trabalhos futuros, debatidos na Seção 6.3 deste documento.

Acerca do relatório de avaliação gerado pelo SITEG, o mesmo é gerado imediatamente após a finalização da execução do treinamento, cumprindo o requisito de avaliação *on-line* e é armazenado em um arquivo em um local pré-especificado. Para a verificação do tempo gasto para a criação do relatório de avaliação após o

encerramento da execução do sistema foram realizados dez treinamentos com o SITEG, medidos o tempo para a geração do arquivo nas dez interações e foi calculado o tempo médio para a geração do relatório (Tabela 10). A aplicação deste teste permitiu que fosse verificado que o tempo médio para a emissão de relatório é de 0,71s, valor que qualifica o sistema de avaliação como *on-line*, pois oferece uma resposta ao usuário em um tempo menor do que 1,0s. Estes testes foram realizados em uma máquina com processador INTEL Core-2-Duo 800 MHz e 4GB de memória RAM e todos sob a mesma condição de carga de máquina.

Tabela 10 - Verificação do tempo gasto para a emissão do relatório da avaliação.

Número do Teste	Tempo para a criação do relatório
1	0,7s
2	0,7s
3	0,76s
4	0,79s
5	0,68s
6	0,71s
7	0,73s
8	0,71s
9	0,72s
10	0,71s
Tempo médio	0,71s

No relatório da avaliação é possível observar as entradas passadas pelo usuário ao sistema de avaliação, o resultado do seu exame (ruim, muito ruim, regular, muito bom ou correto) e informações como a situação apresentada e a pertinência das entradas do usuário em relação à(s) regra(s) que indica(m) a realização correta do exame. Neste ponto é importante ressaltar a forma *on-line* como acontece a avaliação, o que é um fator que pode aumentar a qualidade do ensino provido pelo SITEG. Na Figura 46 pode-se observar um relatório de avaliação gerado pelo SITEG.

```

-----Relatório de Avaliação-----

-----Entradas para a avaliação-----

Impressão Externa: 0
Cobertura: 8
Impressão Colo Cru: 0.2
Impressão Colo Ácido: 0.2
Impressão Colo Lugol: 0.2
Ordem: 1
Impressão Tátil: 0.2
Força Mediana: 0.1
Conduta: 0.3

-----Resultado da avaliação-----

0.7 (Muito Bom)

-----Comentários-----

Caso Apresentado: 12
Situação: Colo Jec Visível

>> Um erro aconteceu na impressão tátil que apresentou pertinência de apenas 0.4 com a
situação correta

```

Figura 46 - Exemplo de um relatório da avaliação no SITEG.

5.4 Considerações

Este Capítulo teve como objetivo apresentar os resultados obtidos com a utilização do SITEG. Inicialmente foram descritos os resultados visuais oriundos da implementação do sistema. Posteriormente foram detalhados os testes realizados com o sistema especialista do SITEG, tais resultados permitiram a conclusão de que o módulo de avaliação por lógica *fuzzy* adicionado ao CyberMed é acurado e eficiente computacionalmente o suficiente para ser utilizados em aplicações de simulação virtual. Além disso, foram realizados testes sobre o sistema especialista para uma das situações simuladas no SITEG. Estes testes sobre o sistema especialista procuraram

retirar eventuais inconsistências ou resultados inesperados na avaliação do usuário.

Uma vez apresentados os resultados do desenvolvimento do sistema, cabem discussões sobre a pesquisa desenvolvida e os resultados alcançados. Esta discussão é realizada no Capítulo 6.

6 Conclusões

Os paradigmas tradicionais de ensino tem sido alvo de questionamentos quanto a sua eficácia, mediante o aumento no nível de informação dos pacientes, o crescente foco na saúde do paciente e a diminuição da aceitação de erros humanos cometidos pelos médicos na realização de procedimentos ou adoção de diagnósticos. Neste contexto, há um entusiasmo no campo de pesquisas pelo provimento de alternativas que ofereçam auxílio ao ensino tradicional de procedimentos médicos. Neste trabalho foram apresentados estudos sobre a utilização de RV na construção de simulações com foco no ensino e treinamento de procedimentos de medicina, foi apresentado um sistema de simulação por RV para estudo e treinamento em exame ginecológico e um sistema de avaliação acoplado a este simulador.

Neste Capítulo detalham-se considerações sobre a pesquisa desenvolvida, evidenciam-se os resultados obtidos a partir do desenvolvimento deste trabalho, bem como se discute os principais desdobramentos previstos em trabalhos futuros.

6.1 Considerações sobre a pesquisa desenvolvida

Alguns benefícios proporcionados pelos simuladores virtuais aplicados ao ensino de medicina podem ser diretos, como os avanços imediatamente discerníveis no desempenho individual e de equipes, fato que leva à redução de erros nos procedimentos médicos reais. No entanto, a maioria dos benefícios – ao contrário dos custos associados à criação/utilização dos simuladores virtuais – não são diretos, nem de fácil medição. Apesar deste fato, é importante ressaltar que o sistema atual de educação, treinamento e manutenção de proficiência em conhecimentos médicos também nunca foi testado rigorosamente para determinar quando ele atinge ou não os resultados esperados. Pelo contrário, a revisão encontrada em CQHCA (1999) sugere que o método tradicional é responsável por grande parte dos erros cometidos por médicos formados.

De acordo com Harders (2008), os simuladores virtuais para medicina ainda precisam de validação e torna-se necessária a definição de protocolos padronizados para definir tais critérios de avaliação. Além da avaliação específica de cada aplicação,

ainda são necessários estudos para determinar quando a simulação por RV pode substituir outros métodos de auxílio ao ensino, como a prática em animais ou cadáveres. Neste sentido, é importante ressaltar que, quando se trata de medicina, a simulação por RV provavelmente nunca irá substituir o treinamento básico de aprendizagem com o trabalho supervisionado em pacientes reais. A realização de um procedimento em um paciente é intrinsecamente mais complexa pelo fato de requerer maior empatia e conexão humana do que em outras atividades de risco que são simuladas por sistemas de RV. Encontrar a divisão correta entre o treinamento tradicional, treinamento por simulação e prática assistida em pacientes reais é um importante desafio e tema de estudos científicos.

Educação e prática em procedimentos médicos podem ser melhoradas se as sociedades e a comunidade médica tornarem-se mais envolvidas no *design*, na implementação e na avaliação das tecnologias de RV. Esse aumento no envolvimento contribuiria não só para o desenvolvimento de aplicações de RV avançadas, mas também para a concepção de componentes tecnológicos, tais como dispositivos de visualização, sensores hápticos e de retorno de força, que podem potencializar os efeitos dos simuladores no ensino de medicina.

6.2 Resultados Obtidos

Como resultado do trabalho foi apresentado um estudo sobre a utilização de simuladores virtuais para ensino e treinamento de procedimentos médicos. Foi investigada a importância do exame ginecológico e a existência de simuladores para procedimentos ginecológicos. Como consequência do trabalho foi detalhado o desenvolvimento de um simulador virtual para ensino e treinamento em exame ginecológico e um sistema de avaliação acoplado a este simulador.

Durante a realização deste trabalho ocorreram interações com uma profissional da área de saúde. O apoio desta profissional foi fundamental para que pudessem ser identificadas as reais necessidades de um sistema de treinamento e as particularidades específicas do exame ginecológico. Assim, foram identificadas as áreas de interesse para o desenvolvimento de um simulador e posteriormente caracterizado o exame

ginecológico como o exame a ser simulado, pela sua importância para a saúde da mulher e pela falta de métodos alternativos de treinamento na sua realização.

Como principal diferencial em relação a outros trabalhos o SITEG simula um exame fundamental na prevenção do câncer de colo de útero e que não possui uma forma alternativa de treinamento, já que não pode ser treinado em cadáveres, ou animais, por exemplo. Neste contexto, outro diferencial do SITEG é a utilização de uma abordagem de avaliação das ações do usuário baseada em lógica *fuzzy*. Esta abordagem permite ao usuário do sistema o acesso a um relatório com os dados da sua interação, de forma que é possível que ele saiba logo após a sua interação o resultado da sua avaliação.

Em termos de aplicação a adoção de um sistema de simulação de RV como ferramenta de auxílio ao ensino em uma universidade é dificultada principalmente por questões financeiras e tecnológicas. O custo financeiro de sistemas de visualização estereoscópica e, principalmente, de sistemas hápticos encarece os sistemas de simulação por RV. Neste sentido, o desenvolvimento deste trabalho utilizando apenas ferramentas livres e, sendo o próprio um *software* livre e de código aberto, implica em uma tentativa de viabilizar sua utilização no contexto das universidades. Além disso, a história sugere que o avanço tecnológico introduz um barateamento das tecnologias, o que indica a viabilização da utilização de simuladores virtuais para medicina nas universidades em um futuro próximo.

Com relação à avaliação do usuário, destaca-se que o sistema de avaliação do SITEG é uma evolução do trabalho de Machado (2006c) e diferencia-se das demais metodologias existentes para realização de avaliação em simuladores virtuais pela abordagem baseada no conhecimento do usuário utilizado para a adoção de uma conduta, por ser acoplado a um simulador virtual, oferecer o resultado da avaliação de forma *on-line* e ser capaz de identificar aonde ocorreram os possíveis erros na realização do procedimento.

6.3 Trabalhos Futuros

Um trabalho futuro seria a inclusão de novos casos no sistema através da atualização do arquivo que contém os dados de cada caso simulado. A adição de novas texturas também é bastante simples, requerendo alterações pontuais no código fonte da aplicação. Desta forma, o SITEG pode ser estendido para abordar mais situações, como a presença de corrimentos, sangramentos e outras características de forma a proporcionar uma simulação mais diversificada ao estudante. É importante ressaltar que a inclusão de novos casos requereria novas validações com profissionais de medicina.

Como trabalhos futuros pretende-se continuar a fase de avaliação do sistema com mais especialistas. Esta avaliação deve servir para que sejam analisadas possíveis alterações, correções ou melhorias no sistema de simulação atual. Além disso, pretende-se realizar uma comparação entre grupos que tenham feito o treinamento simulado e grupos que não o tenham feito, quando da realização do treinamento tradicional. Através desta comparação é possível identificar os reais benefícios do uso do simulador na transmissão de conhecimento.

Com relação ao sistema de avaliação acoplado ao simulador virtual, um trabalho futuro é a validação do sistema especialista para as situações que não foram validadas. Através da validação das situações que ainda não foram validadas, será possível a validação completa do sistema de avaliação acoplado ao SITEG. Ainda em relação ao sistema de avaliação do SITEG, outro trabalho futuro é sua utilização com um grupo de alunos de saúde. Através dos mesmos é possível a captação de eventuais melhorias que possam ser feitas para melhorar o sistema de avaliação. Este trabalho futuro é importante para possibilitar a avaliação da eficiência da utilização de um sistema de avaliação associado a um simulador virtual no ensino do procedimento do exame ginecológico.

Outro trabalho futuro é a criação de cenas mais realistas no SITEG. Uma vez que o dispositivo háptico oferece apenas um ponto de interação, atualmente a colisão visual com os interadores provida pelo CyberMed é feita unicamente com esse ponto. Quando ocorre situações da utilização de interadores de corpo extenso, como a haste

flexível ou a mão utilizados neste sistema, a colisão visual não é feita de forma adequada. A inclusão de um método de detecção de colisão para os interadores do CyberMed seria um trabalho que poderia tornar a visualização do SITEG mais realista. Ainda poderia ser adicionada a característica da deformação dos modelos tridimensionais. Neste contexto, deve ser realizado um esforço adicional de refinamento das características hápticas da etapa de palpação do exame. Desta forma, espera-se conseguir suprir as dificuldades relatadas pela especialista na utilização do sistema.

Durante o desenvolvimento deste trabalho, foi lançada a versão 2.0 do *framework* CyberMed. Esta atualização modificou algumas classes centrais do *framework*, de forma que o sistema precisa passar por alterações pontuais para sua adequação ao CyberMed 2.0. Com a versão 2.0 do *framework* é possível a construção de aplicações colaborativas. Desta forma que o SITEG poderia ser estendido para ser utilizado como uma ferramenta de ensino à distância, através de tutoria remota, por exemplo.

6.4 Considerações Finais

A realidade virtual vem sendo utilizada em diversos campos com o intuito de treinar ou capacitar pessoas em determinadas tarefas. A medicina é uma das áreas que tem explorado as tecnologias relacionadas à RV para buscar novas alternativas para o treinamento de procedimento médicos. Apesar destes fatores, a simulação por RV ainda não está estabelecida como uma ferramenta padrão de auxílio ao ensino na área médica. Neste contexto, acredita-se que o desenvolvimento tecnológico e o conseqüente barateamento das tecnologias viabilizem a popularização da utilização de simuladores virtuais para o auxílio à medicina. Além disso, acredita-se que a utilização de metodologias de avaliação do usuário, acopladas aos simuladores virtuais permitirão um acompanhamento mais efetivo do processo de treinamento.

Neste contexto, este trabalho buscou fornecer um estudo sobre a utilização da simulação por RV na área médica, um sistema de simulação para um procedimento importante na saúde da mulher e um sistema de avaliação acoplado a este simulador. Espera-se que os resultados deste trabalho representem um passo a frente no sentido

do estabelecimento da utilização de simuladores virtuais como ferramentas para ensino e treinamento de procedimentos médicos.

Este trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Tecnologias para o Ensino Virtual e Estatística (LabTEVE). O sistema resultante deste trabalho é um *software* livre, código aberto e, assim que concluído sua validação, estará disponível para download em www.de.ufpb.br/~labteve.

Artigos resultantes deste trabalho, associados ao desenvolvimento e integração do módulo de avaliação baseado em lógica *fuzzy* ao *framework* CyberMed, foram publicados no XII Symposium on Virtual and Augmented Reality (SVR 2010) realizado na cidade de Natal - RN em maio de 2010 [Santos, 2010] e foram aceitos para publicação no Safety Health Environment World Congress (SHEWC 2010), evento que será realizado em São Paulo – SP no final do mês de julho do corrente ano [Santos, 2010b]. Um artigo relativo ao estudo realizado sobre a utilização dos simuladores virtuais no ensino de medicina foi publicado no Workshop de Realidade Virtual e Aumentada (WRVA) realizado na cidade de Santos-SP, em outubro de 2009 [Santos, 2009]. Quando finalizada a validação deste trabalho um artigo será submetido para um periódico científico adequado.

BIBLIOGRAFIA

[Allard, 2007] Allard J. et al., "SOFA - an Open Source Framework for Medical Simulation", em Proceedings of Medicine Meets Virtual Reality 15, pp. 13-18, 2007.

[Aggarwal, 2006] Aggarwal R., et. al. "Virtual reality simulation training can improve technical skills during laparoscopic salpingectomy for ectopic pregnancy ", em BJOG: an international journal of obstetrics and gynaecology, Vol. 113, No. 12, pp. 1382-1387, 2006.

[Azevedo, 2008] Azevedo A. M. P., Lazzarotto G. B., Timm M. I., Zaro M. A., "Development and Experience in Teaching Biochemistry with a Multimedia Study Environment", Capítulo de Livro em Computers and Education: Towards Educational Change and Innovation, Ed Springer, Londres, pp. 147-155, 2008.

[Baracat, 2004] Baracat E. C., Lima G.R., "Guias de medicina ambulatorial e hospitalar - Ginecologia", Ed. Manole, 1ª Edição, 2004.

[Basdogan, 2004] Basdogan C. et. al., "Haptics in Minimally Invasive Surgical Simulation and Training." em IEEE Computer Graphics and Applications, Vol. 24, No 2., pp. 56-64, 2004.

[Bastos, 1998] Bastos A.C., "Ginecologia", Ed. Atheneu, 10ª ed, 1998.

[Blender, 2010] Documentação oficial do Blender, Online. Disponível em: http://download.blender.org/documentation/html/ch01.html#introduction_what_is_blender, Acessado em junho/2010.

[Blumenthal, 2005] Blumenthal P.D., Lauterbach M., Sellors J.W., Sankaranarayanan R., "Training for cervical cancer prevention programs in low-resource settings: Focus on visual inspection with acetic acid and cryotherapy", em International Journal of Gynecology and Obstetrics, Vol 89, No. 1, pp. 30-37, 2005.

[Burdea, 1998] Burdea G., Patounakis G., Popescu V., Weiss R. E., "Virtual Reality Training for the Diagnosis of Prostate Cancer", em Proceedings of IEEE Virtual Reality Annual International Symposium, pp. 190-197, 1998.

[Burdea, 2003] Burdea G. C., Coiffet P., "Virtual Reality Technology", Ed. John Wiley & Sons., 2ª ed, 2003.

[Caetano, 2005] Caetano R., Caetano C. M. M., (2005) "Custo-Efetividade no Rastreamento do Câncer Cérvico-Uterino no Brasil: Um Estudo Exploratório". Relatório Técnico INCA, Rio de Janeiro, pp.1-59, 2005.

[Camargos, 2008] Camargos A. F., Melo V. H., Carneiro M. M., “Ginecologia Ambulatorial baseada em evidências científicas”, Ed. Coopmed, 2ª Edição, 2008.

[Choi, 2009] Choi K., Soo S., Chung F., “A virtual training simulator for learning cataract surgery with phacoemulsification”, em *Computers in Biology and Medicine*, Vol 39, No. 11, pp.1020-1031, 2009.

[Costa, 2008] Costa T K L., “Uma estrutura para associação de interfaces 2D a ambientes virtuais dispostos na Internet”. Dissertação de Mestrado em Informática. Universidade Federal da Paraíba, Paraíba, Brasil, 2008.

[Cotran, 2000] Cotran R. S., Kumar V., Collins T., “Patologia Estrutural e Funcional”, Ed. Guanabara Koogan, 6ª ed. 2000.

[CQHCA, 1999] Comitee on Quality of Health Care in America, Institute of Medicine. “To err is human: building a safer health system”, Ed. National Academy Press, 1ª ed., 1999.

[Cuschieri, 2000] Cuschieri A., “The dawn of a new century: reflections on surgical issues” em *Surgical Endoscopy*, Vol. 14, No. 1, pp 1-4., 2000.

[CyberGlove, 2010] Online: <http://www.cyberglovesystems.com/>, acessado em: junho/2010.

[Delingette, 2005] Delingette H., Ayache N., “Hepatic Surgery Simulation” em *Communications of the ACM: Medical Image Modeling*, Vol. 48, No. 2, pp. 31-36, 2005.

[Dias, 2009] Dias G. P., “Um sistema de Realidade Virtual para apoio ao ensino de classificação de imagens”. Dissertação de Mestrado em Informática. Universidade Federal da Paraíba, Paraíba, Brasil, 2009.

[Edwards, 2004] Edwards G. W., Barfield W., Nussbaum M. A., “The use of force feedback and auditory cues for performance of an assembly task in an immersive virtual environment”, em *Virtual Reality*, Vol 7, No. 1, pp. 112-111 2004.

[Farber, 2009] Farber M., Dahmke T., Bohn C. A., Handels H., “Needle Bending in a VR-Puncture Training System Using a 6DOF Haptic Device” em *Proceedings of Medicine Meets Virtual Reality 17*, pp 91-93, 2009.

[Fayad, 1999] Fayad M. E., Johnson R. E., Schmidt D.C., “Framework Problems and Experiences”, Capítulo de Livro, em *Building Application Frameworks: Object-Oriented Foundations of Framework Design*, Ed. John Willey and Sons, pp. 55-82, 1999.

[Fernandes, 2004] Fernandes, A. M. R., “Inteligência artificial aplicada à saúde”, Ed. Visual Books, 1ª ed., 2004.

[FFLL, 2010] Free Fuzzy Logic Library. Online: <http://ffll.sourceforge.net/> Acessado em: 01/2010.

[Fox, 2000] Fox R. A., Ingham C. C. L., Scotland A. D., Dacre J. E., “A study of pre-registration house officers’ clinical skills.” em *Medical Education*, Vol. 34, No. 1, pp. 1007-1012, 2000.

[Gaba, 1988] Gaba D. M., DeAnda A. “A comprehensive anesthesia simulation environment: re-creating the operating room for research and training.” em *Anesthesiology*, Vol. 69, No. 3, pp; 387–394, 1988.

[Gaba, 1998] Gaba D. M., Howard S. K., Flanagan B., Smith B. E., Fish K. J., Botney R., “Assessment of clinical performance during simulated crisis using both technical and behavioral ratings.” em *Anesthesiology*, Vol. 89, No. 1, pp. 8 -18, 1998.

[Gaba, 2001] Gaba D. M., “Structural and organizational issues in patient safety: a comparison of health care to other high-hazard industries.” em *California Management Review*, Vol. 43, No. 1, pp.83-102, 2001.

[Goeschel, 2010] Goeschel C. A., Wachter R. M., Pronovost P. J., “Responsibility for Quality Improvement and Patient Safety:Hospital Board and Medical Staff Leadership Challenges”, em *Chest*, Vol. 138, No. 1, pp. 171-178, 2010.

[Gomes, 2009] Gomes A. C. B., Machado L. S., “Calibração de Propriedades Materiais para Incorporação de Toque em Sistemas de Realidade Virtual” Em: *Anais do Workshop de Realidade Virtual e Aumentada*, Santos, Brazil, 2009.

[Gor, 2003] Gor M., McCloy R., Stone R., Smith A., “Virtual Reality laparoscopic simulator for assessment in gynaecology”, em *BJOG: an International Journal of Obstetrics and Gynaecology*, Vol. 110, No. 2, pp. 181 –187, 2003.

[Harders, 2008] Harders M; “Surgical Scene Generation for Virtual Reality-Based Training in Medicine”, Ed. Springer, 1ª ed., 2008.

[Healy, 2002] Healy G. B., “The College should be instrumental in adapting simulators to education.” em *Bulletin of the American College of Surgeons*, Vol. 87, No. 11, pp. 10-11, 2002.

[Hodges, 1992] Hodges L. F., “Tutorial: Time-Multiplexed Stereoscopic CG”, em *IEEE Computer Graphics & Applications*, Vol. 12, No. 2, pp. 20-30, 1992.

[Holland, 2004] Holland K. L., Williams R. L., Conatser R. R., Howell J. N., Cade D. L., “The implementation and evaluation of a virtual haptic back”, *Virtual Reality* Vol. 7, No. 2, pp. 94-102, 2004.

[Holzman, 1995] Holzman R. S. et. al., “Anesthesia crisis resource management: real-life simulation training in operating room crisis”, em Journal of Clinical Anesthesia, Vol 7., No. 8, pp. 675-87, 1995.

[Hounsell, 2008] Hounsell M. S., Silva E. L., Miranda J. J., “Detalhando aspectos de educação e treinamento em ambientes virtuais 3D.” em Proceedings of International Conference on Engineering and Technology Education, pp. 641-645, 2008.

[Huang, 2005] Huang J., Payandeh S., Doris P., Hajshirmohammadi I., “Fuzzy Classification: Towards Evaluating Performance on a Surgical Simulator” em Proceedings of Medicine Meets Virtual Reality 13, pp.194-200, 2005.

[INCA, 2009] Instituto Nacional do Câncer, “Estimativas 2010, Incidência de Câncer no Brasil”, Ed. Gráfica Flama, 2009, Online:
<http://www.inca.gov.br/estimativa/2010/estimativa20091201.pdf>, Acessado em: 06/2010.

[JFuzzyLogic, 2010] JFuzzyLogic. Online:
<http://jfuzzylogic.sourceforge.net/html/index.html> Acessado em: 01/2010

[Kneebone, 2003] Kneebone R. L., “Simulation in surgical training: educational issues and practical implications”, em Medical Education, Vol. 37, No. 3, pp. 267 – 277, 2003.

[Kneebone, 2004] Kneebone R. L., Scott W., Darzi A, Horrocks M., “Simulation and clinical practice: strengthening the relationship”, em Medical Education, Vol. 38, No. 10, pp. 1095 – 1102, 2004.

[Kopec, 2003] Kopec D., et al, “Human Errors in Medical Practice: Systematic Classification and Reduction With Automated Information Systems”, em Journal of Medical Systems, Vol 27, No 4, pp. 297-313 ,2003.

[Kumagai, 2007] Kumagai K., Yamashita J., Morikawa O., Yokohama K., “A New Force Based Objective Assessment of Technical Skills in Endoscopic Sinus Surgery” em Proceedings of Medicine Meets Virtual Reality 15, pp. 235-237, 2007.

[Larsen, 2006] Larsen C. R., et. al. “Objective assessment of gynecologic laparoscopic skills using the LapSimGyn virtual reality simulator” em Surgical Endoscopy, Vol. 20, No. 9, pp. 1460-1466, 2006.

[Machado, 2001] Machado L. S., Moraes R. M., Zuffo M. K., “Avaliação Fuzzy para um Sistema de Realidade Virtual para Treinamento Médico”, em Anais do Encontro Nacional de Inteligência Artificial (ENIA), pp 254-259, 2001.

[Machado, 2003] Machado L. S., Zuffo M. K., “Development and Evaluation of a Simulator of Invasive Procedures in Pediatric Bone Marrow Transplant”, em Proceedings of Medicine Meets Virtual Reality 11, pp. 193-195, 2003.

[Machado, 2003b] Machado L. S., “A Realidade Virtual no Modelamento e Simulação de Procedimentos Invasivos em Oncologia Pediátrica”, Tese de Doutorado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil, pp 1-116, 2003.

[Machado, 2005] Machado L. S., Moraes R. M., “Cenários 3D Interativos com *Software Livre*”, em Revista de Informática Teórica e Aplicada, Vol. 12, No. 2, pp. 91-112, 2005.

[Machado, 2006] Machado L.S., Moraes R.M., “VR-Based Simulation for the Learning of Gynaecological Examination.” Lecture Notes in Computer Science, Vol. 4282, No. 1, pp. 97-104, 2006.

[Machado, 2006b] Machado L.S.; Souza D.F.L; Moraes R.M., “A Virtual Reality Based Simulator for Gynecologic Exam Training.”, em Proceedings. of Information Technology based Higher Education and Training, pp. 1-6, 2006.

[Machado, 2006c] Machado L.S., Moraes R.M., “Assessment in Gynecological Procedures in Simulators Based on Virtual Reality.” em Proceedings of 7th International FLINS Conference on Applied Artificial Intelligence, pp. 799-804, 2006.

[Machado, 2008] Machado L. S., Moraes R. M., Souza D. F. L., Souza L. C., “Desenvolvimento Rápido de Aplicações de RV Utilizando *Software Livre*”, Capítulo de Livro em Realidade Virtual e Aumentada na Prática, Ed. SBC, pp. 5-33, 2008.

[Machado, 2008b] Machado L. S., Valdek M. C. O., Moraes R. M., “On-Line Assessment System for a Training System with Multiple Stages Based on Virtual Reality.” Journal of Multiple-Valued Logic and Soft Computing, Vol.14, No.3-5, pp. 511-524, 2008.

[Machado, 2009] Machado L. S., Moraes R. M., Souza D. F. L., Souza L. C., Cunha I. L. L., “A Framework for Development of Virtual Reality-Based Training Simulators”, em Proceedings of Medicine Meets Virtual Reality 17, pp. 174-176, 2009.

[Maciel, 2008] Maciel A., et. al. “Towards a virtual basic laparoscopic skill trainer (VBLaST).”, em Proceedings of Medicine Meets Virtual Reality 16, pp. 275-280, 2008.

[Mackel, 2006] Mackel T., Rosen J., Pugh C., “Data Mining of the E-Pelvis Simulator Database: A Quest for a Generalized Algorithm for Objectively Assessing Medical Skill”, em Proceedings of Virtual and Augmented Reality 14, pp. 355-360, 2006.

[Mamdani, 1974] Mamdani E. H., “Application of Fuzzy Algorithms for Control of Simple Dynamic Plant.”, em IEEE Control and Science, Vol.121, No. 12, pp.1585-1588, 1974.

[Mantovani, 2003] Mantovani F., “VR learning: potential and challenges for the use of 3D environments in education and training”, Capítulo de Livro, em “Towards

cyberpsychology: mind, cognitions and society in the internet age.” Ed. IOS Press, pp. 201-225, 2003.

[Maran, 2003] Maran N. J., Glavin R. J., “Low- to high-fidelity simulation – a continuum of medical education?”, em Medical Education, Vol. 37, No.1, pp 22-28, 2003.

[Mathworks, 2010] Mathworks, MatLab. Online:
<http://www.mathworks.com/products/matlab/> Acessado em: 01/2010

[McAllister, 2002] McAllister D. F., “3D Displays”, Capítulo de Livro, em Encyclopedia of Imaging Science and Technology, Ed. John Wiley & Sons, pp. 1327-1344, 2002.

[McCloy, 2001] McCloy R., Stone R., “Science, medicine, and the future: Virtual Reality in surgery” em British Medical Journal, Vol. 323, No. 1, pp. 912-915, 2001.

[Meiguins, 2006] Meiguins B. S. et. al. “Realidade Virtual e Aumentada na Visualização de Informação.” Capítulo de Livro em Fundamentos e Tecnologia de Realidade Virtual e Aumentada, Ed. SBC, pp. 304-312, 2006.

[Microsoft, 2010] Online: <http://www.microsoft.com/hardware/gaming/gaming.mspix>, acessado em junho/2010.

[Montgomery, 2002] Montgomery K. et. al., “Spring: A general framework for collaborative, real-time surgical simulation”, em Proceedings of Medicine Meets Virtual Reality 10, pp. 23-26, 2002.

[Moraes, 1998] Moraes R. M., “Uma arquitetura de sistemas especialistas nebulosos para classificação de imagens utilizando operadores da morfologia matemática”, Tese de Doutorado, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Brasil, 1998.

[Moraes, 2002] Moraes R. M., Machado L. S., “Hidden Markov Models for Learning Evaluation in Virtual Reality Simulators”, em Proceedings of International Conference on Computers and Advanced Technology in Education, pp. 405-409, 2002.

[Moraes, 2003] Moraes R. M., Machado L. S., “Fuzzy Gaussian Mixture Models for On-line Training Evaluation in Virtual Reality Simulators.”, em Annals of the International Conference on Fuzzy Information Processing, pp. 733-740, 2003.

[Moraes, 2004] Moraes, R.M., Machado L.S., “Using Fuzzy Hidden Markov Models for Online Training Evaluation and Classification in Virtual Reality Simulators” em International Journal of General Systems, Vol. 33, No. 2-3, pp. 281-288, 2004.

[Moraes, 2005] Moraes R. M., Machado L. S., “Maximum Likelihood for On-line Evaluation of Training Based on Virtual Reality.” em Proceedings of Global Congress on Engineering and Technology Education, pp. 299-302, 2005.

- [Moraes, 2007] Moraes R.M., Machado L.S., “Assessment Based on Naive Bayes for Training Based on Virtual Reality”, em Proceedings of International Conference on Engineering and Computer Education, pp. 269-273, 2007.
- [Moraes, 2008] Moraes R.M., Machado L.S., “Fuzzy Bayes Rule for On-Line Training Assessment in Virtual Reality Simulators”, em Journal of Multiple-Valued Logic and Soft Computing, Vol. 14, No.3-5, pp. 325-338, 2008.
- [Moraes, 2009] Moraes R. M., Machado L. S., “Another Approach for Fuzzy Naive Bayes Applied on Online Training Assessment in Virtual Reality Simulators”, em Proceedings of Safety Health and Environmental World Congress, pp. 62-66, 2009.
- [Moraes, 2009b] Moraes R. M.; Machado L. S., “Online Training Evaluation in Virtual Reality Simulators Using Possibilistic Networks.” Proceedings of Safety Health and Environmental World Congress, pp. 67-71, 2009.
- [Morgan, 2003] Morgan K.S., Westwood J.D., “NextMed, Health Horizon”, em Proceedings of Medicine Meets Virtual Reality 1, pp. V, 2003.
- [Mullen, 2009] Mullen T., “Mastering Blender”, Ed. Wiley Publishing, 1ª ed, 2009.
- [Nicholson, 2006] Nicholson D. T., Chalk C., Funnell W. R., Daniel S. J. “Can virtual reality improve anatomy education? A randomised controlled study of a computer-generated three-dimensional anatomical ear model.”, em Medical Education, Vol. 40, No. 11, pp. 1081-1087, 2006.
- [Nobre, 1997] Nobre F. S. M., Palhares A. G. B., “Informações Quantitativas e Qualitativas no Projeto de Controladores Nebulosos”, SBA: Controle & Automação, Vol.8, No 2, 1997.
- [Oliveira, 2006] Oliveira, A. C. M. T. G. et al. “Virtual Reality Framework for Medical Training: Implementation of a deformation class using Java”, em Proceedings of the SIGGRAPH International Conference on Virtual-Reality Continuum and its Applications in Industry, pp. 347-351, 2006.
- [Oliveira, 2007] Oliveira, A.C.M.T.G. (2007). “ViMeT – Projeto e Implementação de um Framework para Aplicações de Treinamento Médico usando Realidade Virtual”. Dissertação de Mestrado, Centro Universitário Eurípides de Marília, São Paulo.
- [Pagliosa, 2003] Pagliosa A. L., “Obtenção das funções de pertinência de um sistema neurofuzzy modificado pela rede de Kohonen”, Tese de Mestrado, Universidade do Estado de Santa Catarina, Santa Catarina, Brasil, 2003.

[Pantelidis, 1995] Pantelidis V. S., “Reasons to Use Virtual Reality in Education.” em VR in the Schools, Vol. 1, No. 1, pp. 9,1995.

[Pereira, 2008] Pereira, T. A. B.; Machado, L. S., “Um Módulo de Rede para a Construção de Aplicações Médicas Colaborativas.” em Proceedings of “Symposium on Virtual and Augmented Reality”, pp. 99-102, 2008.

[Porto, 2001] Porto C.C., “Semiologia Médica”, Ed. Guanabara Koogan, 4ª ed, 2001.

[Rosenblum, 1998] Rosenblum L., Burdea G., Tachi S., “VR Reborn”, em IEEE Computer Graphics and Applications, Vol. 18, No. 6, pp. 21-23, 1998.

[Ruthenbeck, 2008] Ruthenbeck G. S., Owen H., Reynolds K.J., “A Virtual Reality Throat Examination Simulation”, em: Medicine Meets Virtual Reality 16, pp.433-435 , 2008.

[Santos, 2008] Santos A. D., Machado L. S., “Desenvolvimento de simulador baseado em Realidade Virtual utilizando ferramentas livres”, Relatório PIBIC, pp. 1-28, 2008.

[Santos, 2009] Santos A. D., Machado L. S., “Realidade Virtual Aplicada ao Ensino de Medicina: Taxonomia, Desafios e Resultados.” em Anais do Workshop de Realidade Virtual e Aumentada, CDROM, 2009.

[Santos, 2010] Santos A.D., Machado L.S., Moraes R.M., Gomes R.G.S., “Avaliação Baseada em Lógica Fuzzy para um Framework Voltado a Construção de Simuladores Baseados em RV.” em Proceedings of XII Symposium on Virtual and Augmented Reality, pp. 194-202, 2010.

[Santos, 2010b] Santos A.D., Moraes R.M., Machado L.S., “A fuzzy logic based assessment tool for VR simulated medical environments”, em Proceedings of Safety Health Environment World Congress, No prelo, 2010.

[Satava, 2001] Satava R. M., “Surgical education and surgical simulation.”, em World Journal of Surgery, Vol 25, No.11, pp. 1484–1489, 2001.

[Satava, 2003] Satava R. M., Gallagher A. G., Pellegrini C. A., “Surgical competence and surgical proficiency: definitions, taxonomy, and metrics.” em Journal of American College of Surgeons, Vol 196, No. 6, pp. 933-937, 2003;

[Satava, 2003b] Satava R M, Cuschieri A., Hamdorf J., “Metrics for objective assessment.”, em Surgical Endoscopy, Vol 17, No. 2, pp. 220-226, 2003.

[Sawyer, 2008] Sawyer B., “From Cells to Cell Processors: The Integration of Health and Video Games”, em IEEE Computer Graphics and Applications, Vol. 28, No. 6, pp 83-85, 2008.

- [SciLab, 2010] SciLab. Online: <http://www.scilab.org/> Acessado em: 01/2010
- [Schildt, 2003] Schildt H., "C++, The Complete Reference", Ed. Mcgraw-Hill, 4ª Edição, 2003.
- [Sessana, 2008] Sessana D., Stredney D., Hittle B., Lambert D., "Simulation of Punch Biopsies: A Case Study" em: Medicine Meets Virtual Reality 16, pp. 451-453, 2008.
- [Sewell, 2007] Sewell C., Blevins N. H., Peddamatham S., Tan H. Z., "The Effect of Virtual Haptic Training on Real Surgical Drilling Proficiency" em Proceedings of the Second Joint EuroHaptics Conference and Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems, pp 601-603, 2007.
- [Sharabi, 2007] Sharabi, C. et. al.; "Immersidata Analysis: Four Case Studies", IEEE Computer, Vol 40, No 7, pp. 45-52, 2007.
- [Shreiner, 2005] Shreiner D, Woo M, Neider J, Davis T, "OpenGL Programming Guide: The Official Guide to Learning OpenGL", Ed Addison-Wesley, 5ª ed, Boston, 2005.
- [Siwe, 2009] Siwe K., Bertero C., Pugh C., Wijma B., "Use of Clinical Simulations for Patient Education: Targetting an Untapped Audience" em Medicine Meets Virtual Reality 17, pp. 325-237, 2009.
- [Souza, 2006] Souza D.F.L, Valdek M.C.O., Moraes R.M., Machado L.S., "SITEG Sistema Interativo de Treinamento em Exame Ginecológico.", em Proceedings of Symposium on Virtual Reality, pp. 445-456, 2006.
- [Spence, 2001] Spence R. "Information Visualization". Ed. Addison-Wesley, 1ª ed, 2001.
- [Srinivasan, 1997] Srinivasan M. A., Basdogan C., "Haptics in virtual environments: taxonomy, research status, and challenges", em Computers and Graphics Vol. 21, No. 4, pp. 393-404, 1997.
- [Székely, 1999] Székely G., Baijka M., Brechbuhler C., "Virtual reality based simulation for endoscopic gynaecology" em Proceedings of Medicine Meets Virtual Reality 7, pp. 351 – 357, 1999.
- [Székely, 1999b] Székely G, Satava, R M, "Virtual Reality in Medicine" em British Medical Journal, Vol. 319, No. 7220, pp. 1305; 1999.
- [Tolga, 2004] Tolga G. G., Cavusoglu M. C., Tendick F., Sastry S., "GiPSi: An Open Source/Open Architecture *Software* Development Framework for Surgical Simulation" Proceedings of Medicine Meets Virtual Reality 14, pp.46-48, 2004.
- [Toogood, 1996] Toogood G. J., Stableforth C. F., O'Brien T. S., "Surgical skills of pre-

registration house surgeons.” Annals of the Royal College of Surgeons of England, Vol. 78, No. 3, pp 114-115.

[Tori, 2006] Tori R; Kirner C. “Fundamentos e Tecnologia de Realidade Virtual e Aumentada”, Capítulo de Livro, em Livro do Pré-Simpósio do VIII Symposium on Virtual Reality.” Ed. SBC, pp 2-21, 2006.

[Vozenilek, 2004] Vozenilek J., Huff J. S., Reznik M., Gordon J. A., “See One, Do One, Teach One: Advanced Technology in Medical Education” em Academic Emergency Medicine, Vol. 11, No. 11, pp 1149-1154, 2004.

[Williams, 2004] Williams R.L., Srivastava M., Conaster R., Howell J.N., “Implementation and Evaluation of a Haptic Playback System”, em Haptics-e, Vol. 3, No. 3, pp. 1-6, 2004.

[Youngblut, 1998] Youngblut C., "Educational Uses of Virtual Reality Technology". Relatório Técnico, Institute for Defense Analyses, Alexandria, pp.1-131, 1998.

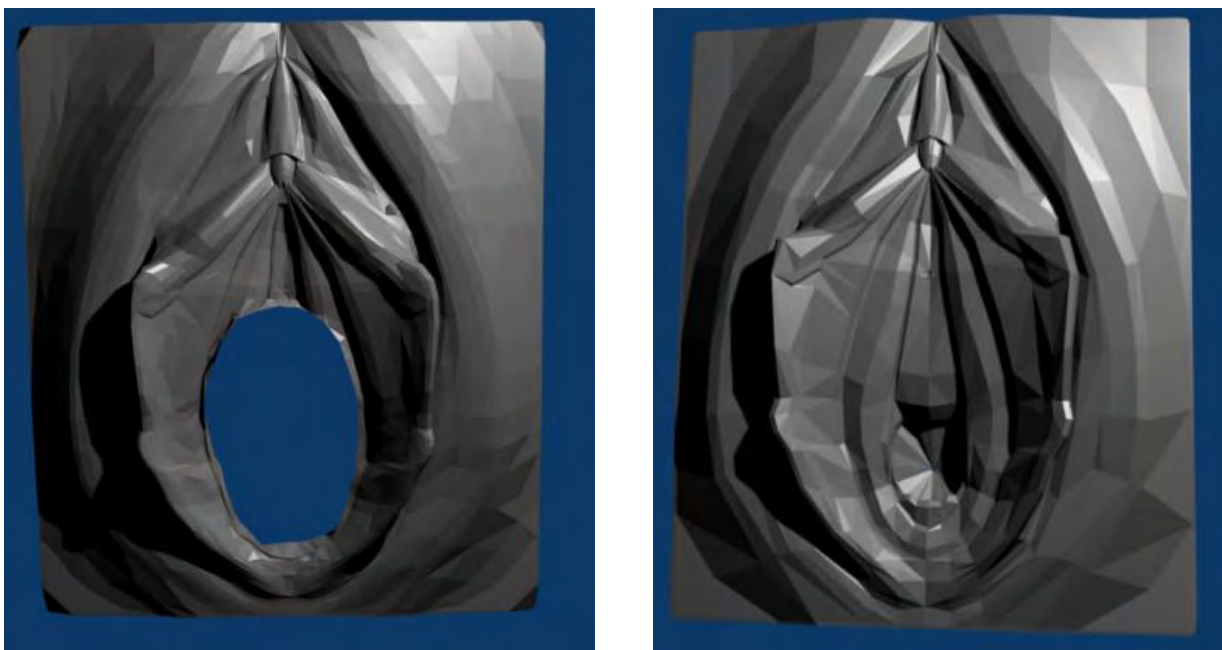
[Zadeh, 1965] Zadeh L. A., “Fuzzy Sets”, em Information and Control, Vol. 8, p. 338-353, 1965.

[Zadeh, 1973] Zadeh L.A., “Outline of a New Approach to the Analysis of Complex Systems and Decision Processes”, em IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Vol. 3, No. 1, pp. 28-44, 1973.

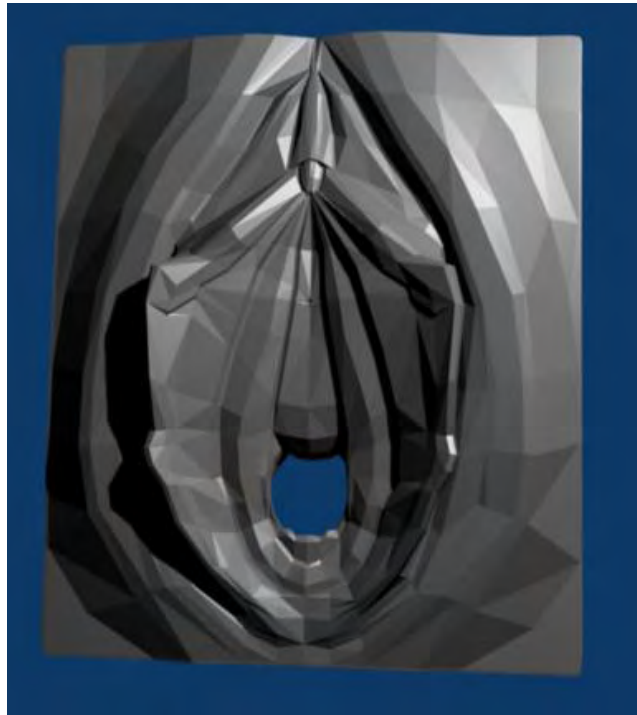
Anexo I – Modelos tridimensionais utilizados no SITEG



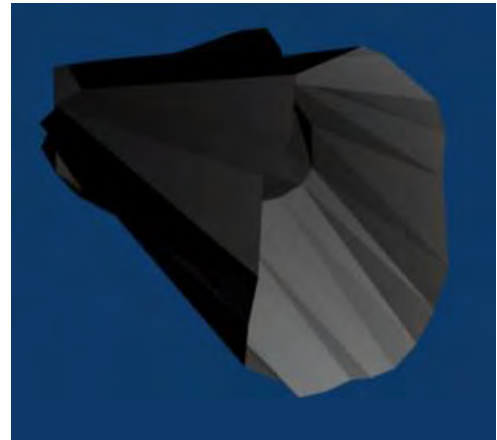
Anexo I.a) Modelos de interadores. Espécuro – 7414 vértices, 14494 faces (esq.), mão – 1170 vértices, 2335 faces (centro) e haste flexível - 1059 vértices, 2110 faces (dir.).



Anexo I.b) Modelos de cena. Vagina aberta – 3167 vértices, 5988 faces (esq.) e vagina fechada - 957 vértices, 1780 faces (dir.).

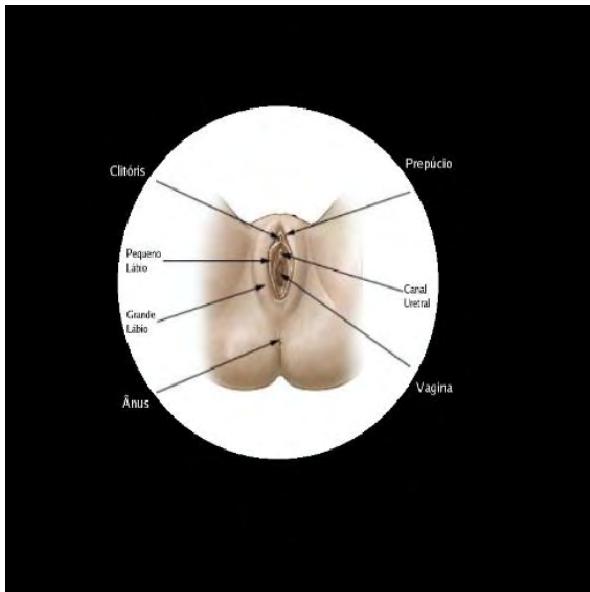


Anexo I.c) Modelo de cena da vagina utilizado na fase tátil do exame (961 vértices, 1780 faces).

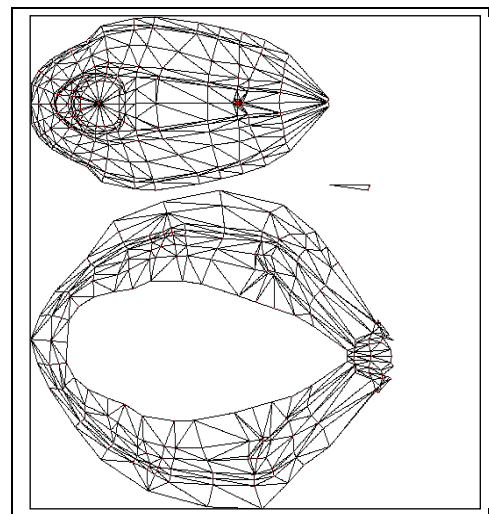
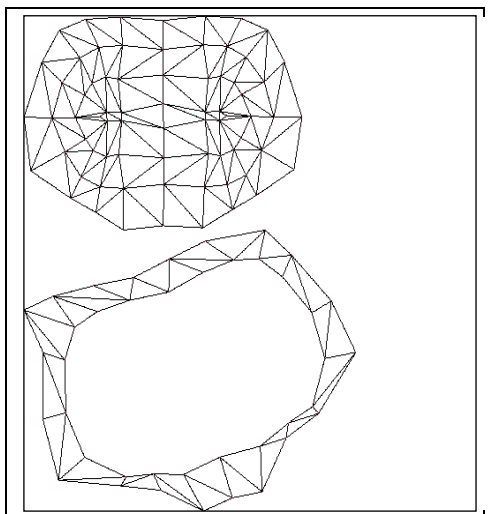


Anexo I.d) Modelos de cena. Colo do útero – 92 vértices, 162 faces (esq.) e canal vaginal – 100 vértices – 160 faces (dir.).

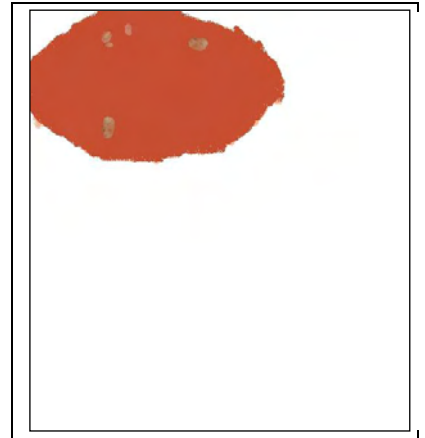
Anexo II – Texturas utilizadas no SITEG



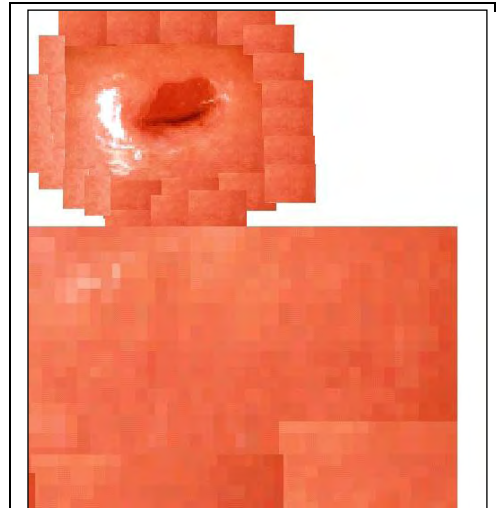
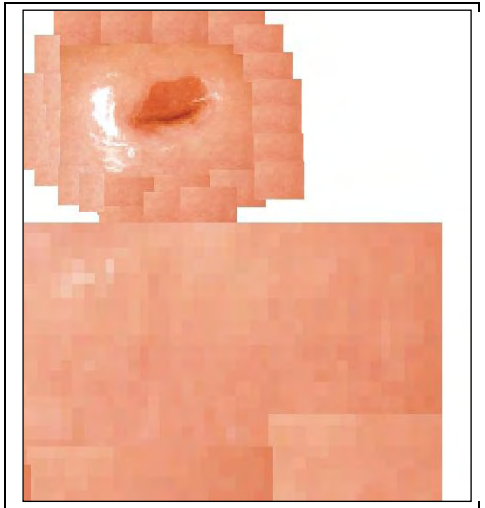
Anexo II.a) Texturas utilizadas no modo de apresentação. Visão frontal (esq.) e lateral (dir.) do aparelho ginecológico feminino.



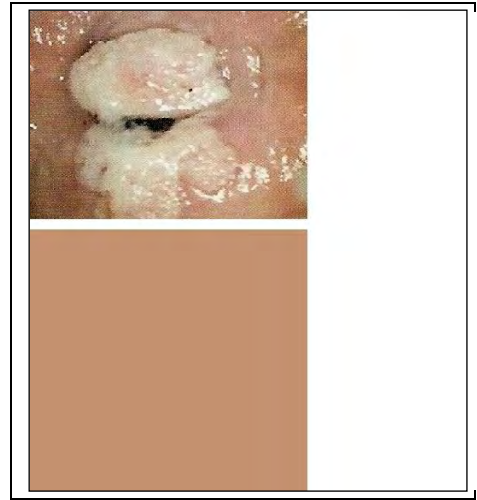
Anexo II.b) Mapas de texturas resultantes da abertura das malhas dos modelos do colo do útero (esq.) e da vagina (dir.).



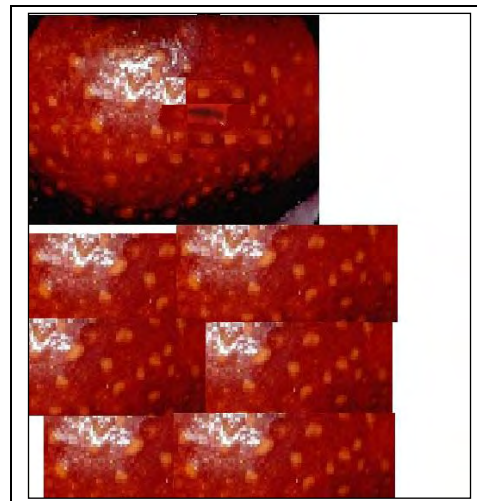
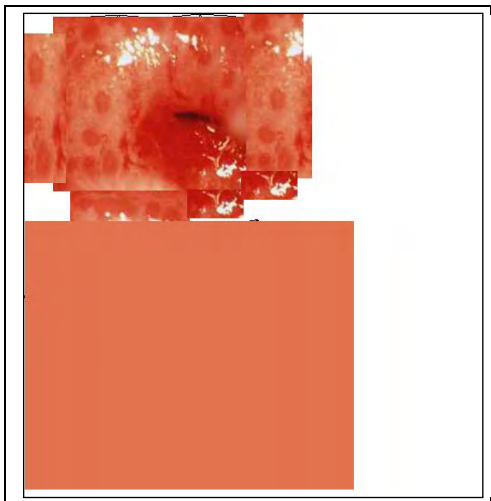
Anexo II.c) Texturas utilizadas no modelo da vagina. Herpes com presença de úlceras (esq.) ou bolhas (dir.).



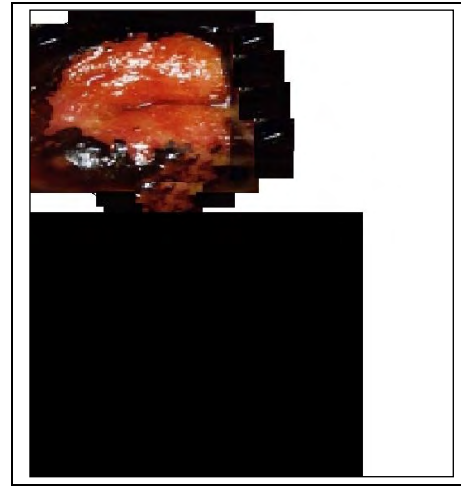
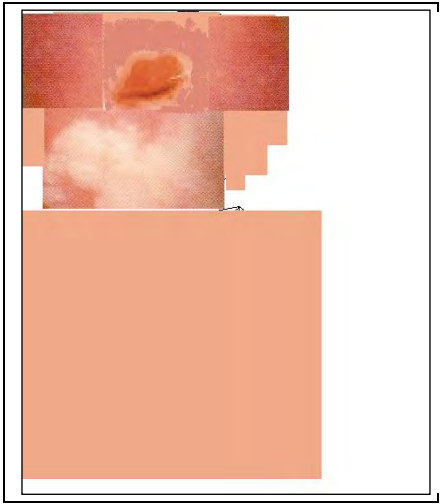
Anexo II.d) Texturas utilizadas no modelo do colo do útero representando dois casos de colo saudável com JEC visível.



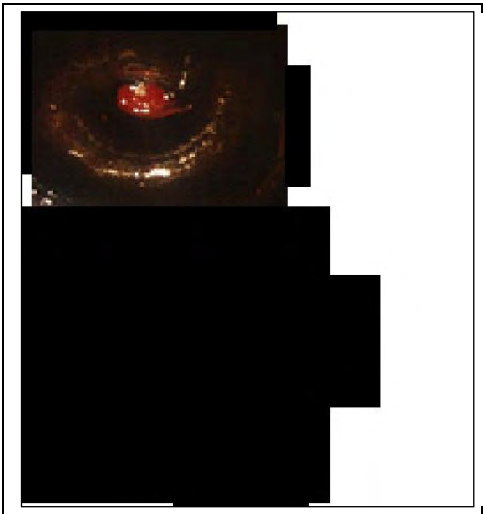
Anexo II.e) Texturas utilizadas no modelo do colo do útero. Colo saudável com presença de cistos de Naboth (esq.) ou colo com condiloma (dir.).



Anexo II.f) Texturas utilizadas no modelo do colo do útero. Colo com sinais de inflamação (esq.) e presença de inflamação evidenciada pela aplicação de lugol (dir.).

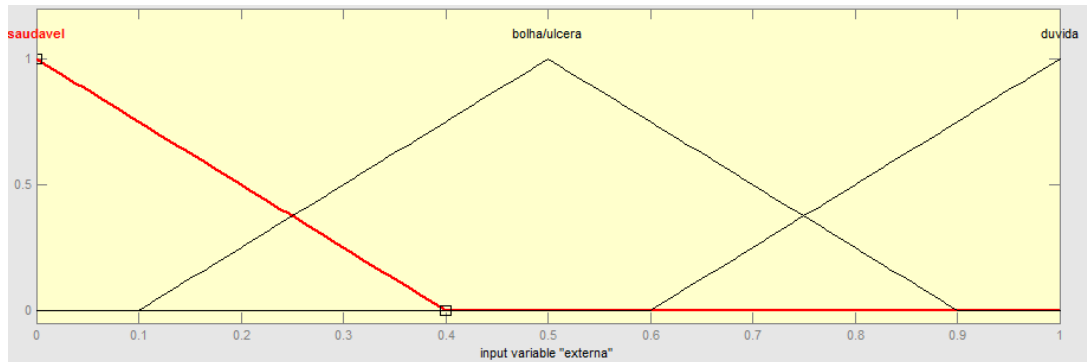


Anexo II.f) Texturas utilizadas no modelo do colo do útero. Colo com sinais de leucoplasia (esq.) e presença de alteração evidenciada pela aplicação de lugol (dir.).

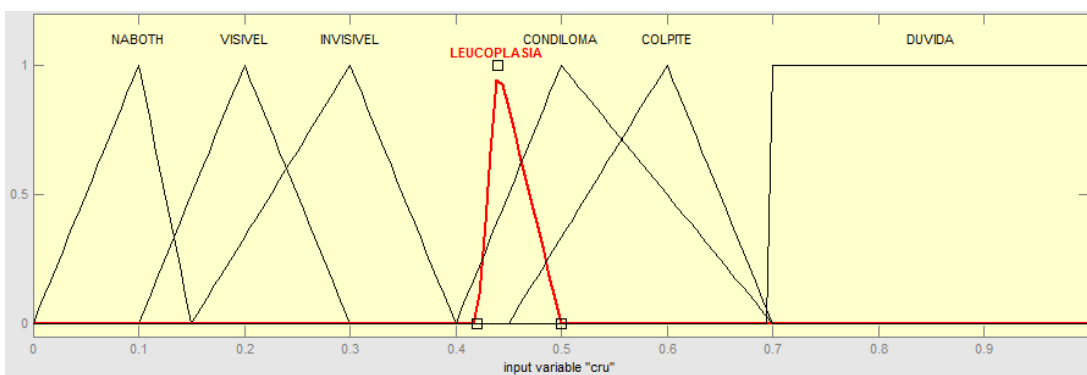


Anexo II.f) Texturas utilizadas no modelo do colo do útero. Colo com JEC visível após a aplicação de lugol (esq.) e colo com JEC invisível após a aplicação de lugol (dir.).

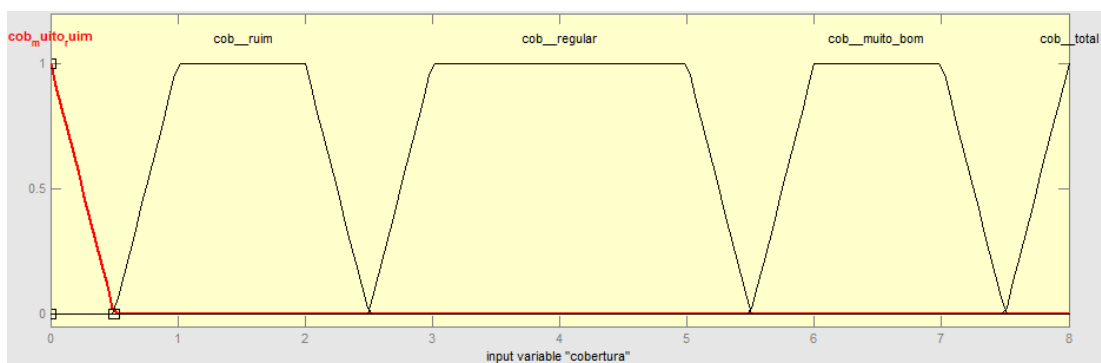
Anexo III – Funções de pertinência das variáveis do SITEG



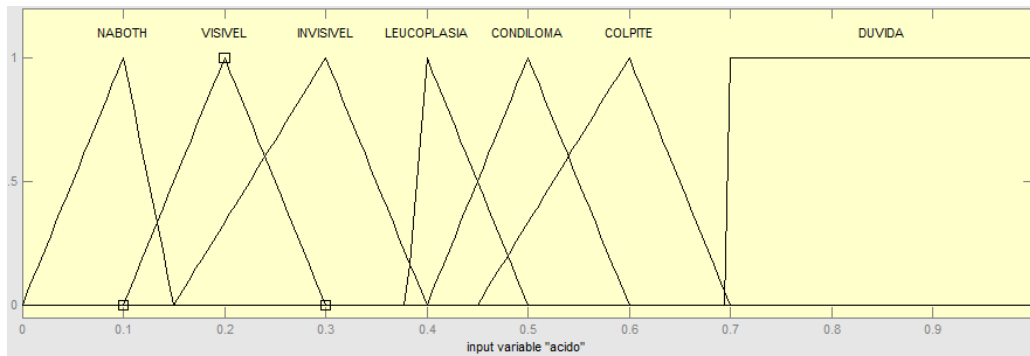
Anexo III.a) Funções de pertinência da variável linguística de entrada “externa”.



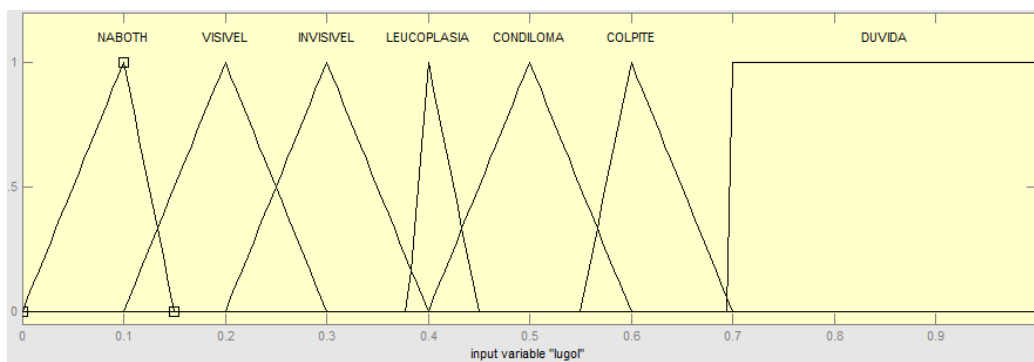
Anexo III.b) Funções de pertinência da variável linguística de entrada “cru”.



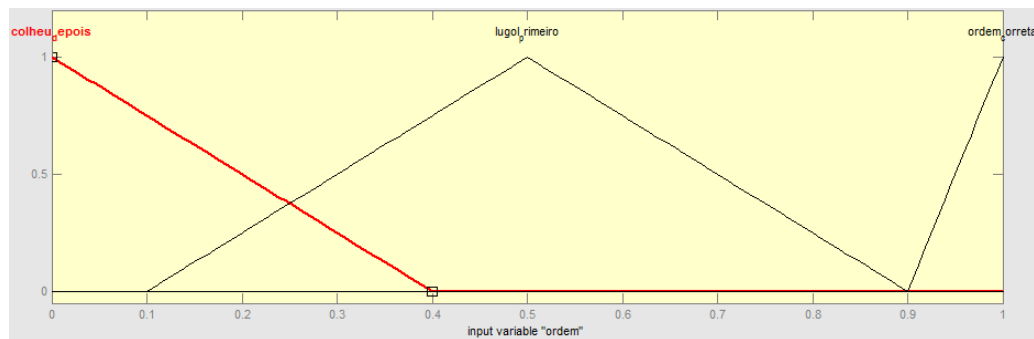
Anexo III.c) Funções de pertinência da variável linguística de entrada “cobertura”.



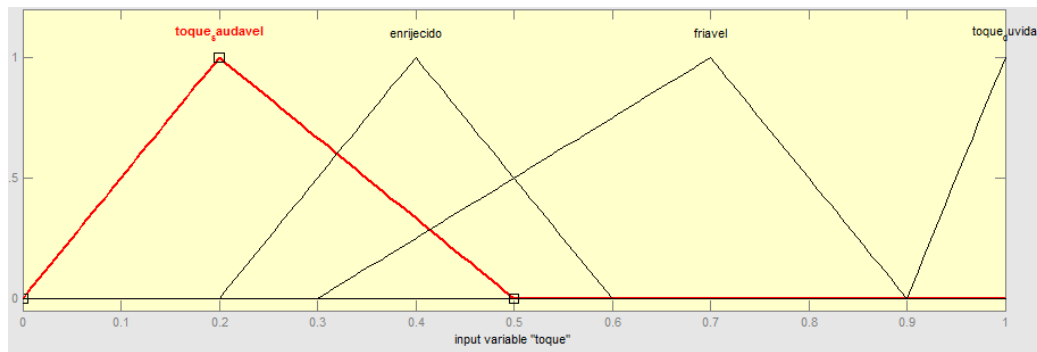
Anexo III.d) Funções de pertinência da variável lingüística de entrada “acido”.



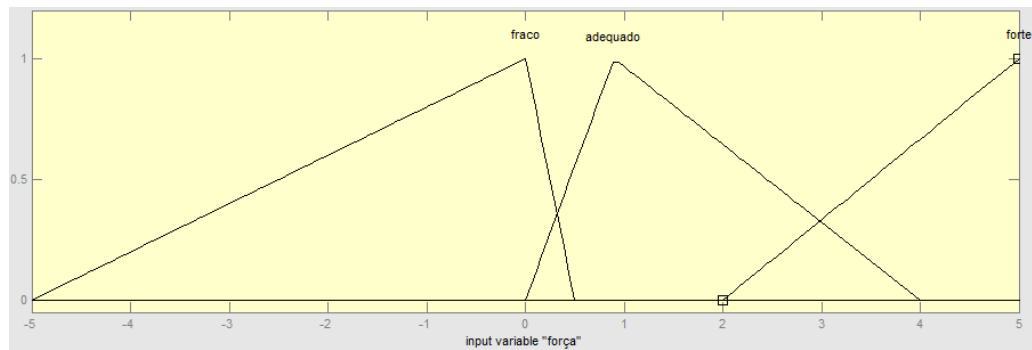
Anexo III.e) Funções de pertinência da variável lingüística de entrada “lugo!”.



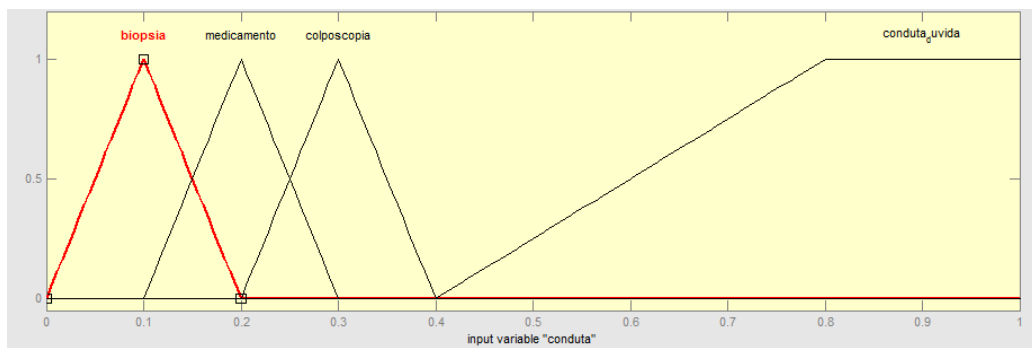
Anexo III.f) Funções de pertinência da variável lingüística de entrada “ordem”.



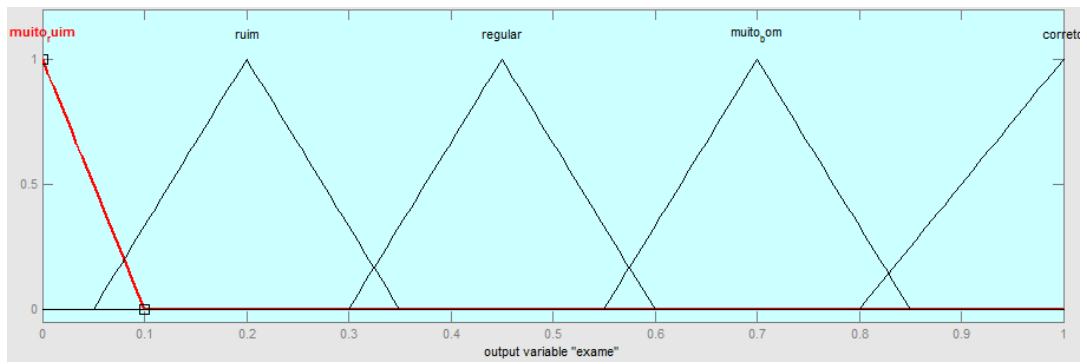
Anexo III.g) Funções de pertinência da variável lingüística de entrada “toque”.



Anexo III.h) Funções de pertinência da variável lingüística de entrada “força”.



Anexo III.i) Funções de pertinência da variável lingüística de entrada “conduta”.



Anexo III.j) Funções de pertinência da variável lingüística de saída “exame”.

Anexo IV – Regras utilizadas no sistema especialista do SITEG

- **Situação I -- Saudável JEC visível:**

1: IF externa is saudável AND cobertura is total AND ordem is correta AND lugol is jec visível AND força is adequada AND toque is saudável AND conduta is colposcopia THEN exame is correto.

2: IF externa is saudável AND cobertura is total AND ordem is correta AND lugol is jec visível AND força is adequada AND toque is not saudável AND conduta is colposcopia THEN exame is muito bom.

3: IF externa is saudável AND cobertura is total AND ordem is not correta AND lugol is jec visível AND força is adequada AND toque is saudável AND conduta is colposcopia THEN exame is muito bom.

4: IF externa is saudável AND cobertura is total AND ordem is not correta AND lugol is jec visível AND força is adequada AND toque is not saudável AND conduta is colposcopia THEN exame is regular.

5: IF externa is saudável AND cobertura is not total AND ordem is correta AND lugol is jec visível AND força is adequada AND toque is saudável AND conduta is colposcopia THEN exame is muito bom.

6: IF externa is saudável AND cobertura is not total AND ordem is correta AND lugol is jec visível AND força is adequada AND toque is not saudável AND conduta is colposcopia THEN exame is regular.

7: IF externa is saudável AND cobertura is not total AND ordem is not correta AND

lugol is jec visivel AND força is adequada AND toque is saudável AND conduta is colposcopia THEN exame is regular.

8: IF externa is saudável AND cobertura is not total AND ordem is not correta AND lugol is jec visivel AND força is adequada AND toque is not saudável AND conduta is colposcopia THEN exame is ruim.

9: IF externa is not saudável AND cobertura is total AND ordem is correta AND lugol is jec visivel AND força is adequada AND toque is saudável AND conduta is colposcopia THEN exame is muito bom.

10: IF externa is not saudável AND cobertura is total AND ordem is correta AND lugol is jec visivel AND força is adequada AND toque is not saudável AND conduta is colposcopia THEN exame is regular.

11: IF externa is not saudável AND cobertura is total AND ordem is not correta AND lugol is jec visivel AND força is adequada AND toque is saudável AND conduta is colposcopia THEN exame is regular.

12: IF externa is not saudável AND cobertura is total AND ordem is not correta AND lugol is jec visivel AND força is adequada AND toque is not saudável AND conduta is colposcopia THEN exame is ruim.

13: IF externa is not saudável AND cobertura is not total AND ordem is correta AND lugol is jec visivel AND força is adequada AND toque is saudável AND conduta is colposcopia THEN exame is regular.

14: IF externa is not saudável AND cobertura is not total AND ordem is correta AND lugol is jec visivel AND força is adequada AND toque is not saudável AND conduta is colposcopia THEN exame is ruim.

15: IF externa is not saudável AND cobertura is not total AND ordem is not correta AND lugol is jec visível AND força is adequada AND toque is saudável AND conduta is colposcopia THEN exame is ruim.

16: IF externa is not saudável AND cobertura is not total AND ordem is not correta AND lugol is jec visível AND força is adequada AND toque is not saudável AND conduta is colposcopia THEN exame is ruim.

17: lugol is not jec visível OR força is not adequada OR conduta is not colposcopia THEN exame is muito ruim.

- **Situação II -- Saudável JEC invisível:**

1: IF externa is saudável AND cobertura is total AND ordem is correta AND lugol is jec invisível AND força is adequada AND toque is saudável AND conduta is colposcopia THEN exame is correto.

2: IF externa is saudável AND cobertura is total AND ordem is correta AND lugol is jec invisível AND força is adequada AND toque is not saudável AND conduta is colposcopia THEN exame is muito bom.

3: IF externa is saudável AND cobertura is total AND ordem is not correta AND lugol is jec invisível AND força is adequada AND toque is saudável AND conduta is colposcopia THEN exame is muito bom.

4: IF externa is saudável AND cobertura is total AND ordem is not correta AND lugol is jec invisível AND força is adequada AND toque is not saudável AND conduta is colposcopia THEN exame is regular.

5: IF externa is saudável AND cobertura is not total AND ordem is correta AND lugol is jec invisível AND força is adequada AND toque is saudável AND conduta is colposcopia

THEN exame is muito bom.

6: IF externa is saudável AND cobertura is not total AND ordem is correta AND lugol is jec invisível AND força is adequada AND toque is not saudável AND conduta is colposcopia THEN exame is regular.

7: IF externa is saudável AND cobertura is not total AND ordem is not correta AND lugol is jec invisível AND força is adequada AND toque is saudável AND conduta is colposcopia THEN exame is regular.

8: IF externa is saudável AND cobertura is not total AND ordem is not correta AND lugol is jec invisível AND força is adequada AND toque is not saudável AND conduta is colposcopia THEN exame is ruim.

9: IF externa is not saudável AND cobertura is total AND ordem is correta AND lugol is jec invisível AND força is adequada AND toque is saudável AND conduta is colposcopia THEN exame is muito bom.

10: IF externa is not saudável AND cobertura is total AND ordem is correta AND lugol is jec invisível AND força is adequada AND toque is not saudável AND conduta is colposcopia THEN exame is regular.

11: IF externa is not saudável AND cobertura is total AND ordem is not correta AND lugol is jec invisível AND força is adequada AND toque is saudável AND conduta is colposcopia THEN exame is regular.

12: IF externa is not saudável AND cobertura is total AND ordem is not correta AND lugol is jec invisível AND força is adequada AND toque is not saudável AND conduta is colposcopia THEN exame is ruim.

13: IF externa is not saudável AND cobertura is not total AND ordem is correta AND lugol is jec invisível AND força is adequada AND toque is saudável AND conduta is colposcopia THEN exame is regular.

14: IF externa is not saudável AND cobertura is not total AND ordem is correta AND lugol is jec invisível AND força is adequada AND toque is not saudável AND conduta is colposcopia THEN exame is ruim.

15: IF externa is not saudável AND cobertura is not total AND ordem is not correta AND lugol is jec invisível AND força is adequada AND toque is saudável AND conduta is colposcopia THEN exame is ruim.

16: IF externa is not saudável AND cobertura is not total AND ordem is not correta AND lugol is jec invisível AND força is adequada AND toque is not saudável AND conduta is colposcopia THEN exame is ruim.

17: lugol is not jec invisível OR força is not adequada OR conduta is not colposcopia THEN exame is muito ruim.

- **Situação III -- Saudável Cistos de Naboth:**

1: IF externa is saudável AND cobertura is total AND ordem is correta AND cru is naboth AND força is adequada AND toque is saudável AND conduta is colposcopia THEN exame is correto.

2: IF externa is saudável AND cobertura is total AND ordem is correta AND cru is naboth AND força is adequada AND toque is not saudável AND conduta is colposcopia THEN exame is muito bom.

3: IF externa is saudável AND cobertura is total AND ordem is not correta AND cru is naboth AND força is adequada AND toque is saudável AND conduta is colposcopia THEN exame is muito bom.

4: IF externa is saudável AND cobertura is total AND ordem is not correta AND cru is naboth AND força is adequada AND toque is not saudável AND conduta is colposcopia THEN exame is regular.

5: IF externa is saudável AND cobertura is not total AND ordem is correta AND cru is naboth AND força is adequada AND toque is saudável AND conduta is colposcopia THEN exame is muito bom.

6: IF externa is saudável AND cobertura is not total AND ordem is correta AND cru is naboth AND força is adequada AND toque is not saudável AND conduta is colposcopia THEN exame is regular.

7: IF externa is saudável AND cobertura is not total AND ordem is not correta AND cru is naboth AND força is adequada AND toque is saudável AND conduta is colposcopia THEN exame is regular.

8: IF externa is saudável AND cobertura is not total AND ordem is not correta AND cru is naboth AND força is adequada AND toque is not saudável AND conduta is colposcopia THEN exame is ruim.

9: IF externa is not saudável AND cobertura is total AND ordem is correta AND cru is naboth AND força is adequada AND toque is saudável AND conduta is colposcopia THEN exame is muito bom.

10: IF externa is not saudável AND cobertura is total AND ordem is correta AND cru is naboth AND força is adequada AND toque is not saudável AND conduta is colposcopia THEN exame is regular.

11: IF externa is not saudável AND cobertura is total AND ordem is not correta AND cru

is naboth AND força is adequada AND toque is saudável AND conduta is colposcopia THEN exame is regular.

12: IF externa is not saudável AND cobertura is total AND ordem is not correta AND cru is naboth AND força is adequada AND toque is not saudável AND conduta is colposcopia THEN exame is ruim.

13: IF externa is not saudável AND cobertura is not total AND ordem is correta AND cru is naboth AND força is adequada AND toque is saudável AND conduta is colposcopia THEN exame is regular.

14: IF externa is not saudável AND cobertura is not total AND ordem is correta AND cru is naboth AND força is adequada AND toque is not saudável AND conduta is colposcopia THEN exame is ruim.

15: IF externa is not saudável AND cobertura is not total AND ordem is not correta AND cru is naboth AND força is adequada AND toque is saudável AND conduta is colposcopia THEN exame is ruim.

16: IF externa is not saudável AND cobertura is not total AND ordem is not correta AND cru is naboth AND força is adequada AND toque is not saudável AND conduta is colposcopia THEN exame is ruim.

17: cru is not naboth OR força is not adequada OR conduta is not colposcopia THEN exame is muito ruim.

- **Situação IV -- Leucoplasia:**

1: IF externa is saudável AND cobertura is total AND ordem is correta AND lugol is leucoplasia AND força is adequada AND toque is saudável AND conduta is colposcopia THEN exame is correto.

2: IF externa is saudável AND cobertura is total AND ordem is correta AND lugol is leucoplasia AND força is adequada AND toque is not saudável AND conduta is colposcopia THEN exame is muito bom.

3: IF externa is saudável AND cobertura is total AND ordem is not correta AND lugol is leucoplasia AND força is adequada AND toque is saudável AND conduta is colposcopia THEN exame is muito bom.

4: IF externa is saudável AND cobertura is total AND ordem is not correta AND lugol is leucoplasia AND força is adequada AND toque is not saudável AND conduta is colposcopia THEN exame is regular.

5: IF externa is saudável AND cobertura is not total AND ordem is correta AND lugol is leucoplasia AND força is adequada AND toque is saudável AND conduta is colposcopia THEN exame is muito bom.

6: IF externa is saudável AND cobertura is not total AND ordem is correta AND lugol is leucoplasia AND força is adequada AND toque is not saudável AND conduta is colposcopia THEN exame is regular.

7: IF externa is saudável AND cobertura is not total AND ordem is not correta AND lugol is leucoplasia AND força is adequada AND toque is saudável AND conduta is colposcopia THEN exame is regular.

8: IF externa is saudável AND cobertura is not total AND ordem is not correta AND lugol is leucoplasia AND força is adequada AND toque is not saudável AND conduta is colposcopia THEN exame is ruim.

9: IF externa is not saudável AND cobertura is total AND ordem is correta AND lugol is

leucoplasia AND força is adequada AND toque is saudável AND conduta is colposcopia THEN exame is muito bom.

10: IF externa is not saudável AND cobertura is total AND ordem is correta AND lugol is leucoplasia AND força is adequada AND toque is not saudável AND conduta is colposcopia THEN exame is regular.

11: IF externa is not saudável AND cobertura is total AND ordem is not correta AND lugol is leucoplasia AND força is adequada AND toque is saudável AND conduta is colposcopia THEN exame is regular.

12: IF externa is not saudável AND cobertura is total AND ordem is not correta AND lugol is leucoplasia AND força is adequada AND toque is not saudável AND conduta is colposcopia THEN exame is ruim.

13: IF externa is not saudável AND cobertura is not total AND ordem is correta AND lugol is leucoplasia AND força is adequada AND toque is saudável AND conduta is colposcopia THEN exame is regular.

14: IF externa is not saudável AND cobertura is not total AND ordem is correta AND lugol is leucoplasia AND força is adequada AND toque is not saudável AND conduta is colposcopia THEN exame is ruim.

15: IF externa is not saudável AND cobertura is not total AND ordem is not correta AND lugol is leucoplasia AND força is adequada AND toque is saudável AND conduta is colposcopia THEN exame is ruim.

16: IF externa is not saudável AND cobertura is not total AND ordem is not correta AND lugol is leucoplasia AND força is adequada AND toque is not saudável AND conduta is colposcopia THEN exame is ruim.

17: Iugol is not leucoplasia OR força is not adequada OR conduta is not colposcopia
THEN exame is muito ruim.

- **Situação V -- Condiloma:**

1: IF externa is saudável AND cobertura is total AND ordem is correta AND acido is condiloma AND força is adequada AND toque is saudável AND conduta is biopsia
THEN exame is correto.

2: IF externa is saudável AND cobertura is total AND ordem is correta AND acido is condiloma AND força is adequada AND toque is not saudável AND conduta is biopsia
THEN exame is muito bom.

3: IF externa is saudável AND cobertura is total AND ordem is not correta AND acido is condiloma AND força is adequada AND toque is saudável AND conduta is biopsia
THEN exame is muito bom.

4: IF externa is saudável AND cobertura is total AND ordem is not correta AND acido is condiloma AND força is adequada AND toque is not saudável AND conduta is biopsia
THEN exame is regular.

5: IF externa is saudável AND cobertura is not total AND ordem is correta AND acido is condiloma AND força is adequada AND toque is saudável AND conduta is biopsia
THEN exame is muito bom.

6: IF externa is saudável AND cobertura is not total AND ordem is correta AND acido is condiloma AND força is adequada AND toque is not saudável AND conduta is biopsia
THEN exame is regular.

7: IF externa is saudável AND cobertura is not total AND ordem is not correta AND

acido is condiloma AND força is adequada AND toque is saudável AND conduta is biopsia THEN exame is regular.

8: IF externa is saudável AND cobertura is not total AND ordem is not correta AND acido is condiloma AND força is adequada AND toque is not saudável AND conduta is biopsia THEN exame is ruim.

9: IF externa is not saudável AND cobertura is total AND ordem is correta AND acido is condiloma AND força is adequada AND toque is saudável AND conduta is biopsia THEN exame is muito bom.

10: IF externa is not saudável AND cobertura is total AND ordem is correta AND acido is condiloma AND força is adequada AND toque is not saudável AND conduta is biopsia THEN exame is regular.

11: IF externa is not saudável AND cobertura is total AND ordem is not correta AND acido is condiloma AND força is adequada AND toque is saudável AND conduta is biopsia THEN exame is regular.

12: IF externa is not saudável AND cobertura is total AND ordem is not correta AND acido is condiloma AND força is adequada AND toque is not saudável AND conduta is biopsia THEN exame is ruim.

13: IF externa is not saudável AND cobertura is not total AND ordem is correta AND acido is condiloma AND força is adequada AND toque is saudável AND conduta is biopsia THEN exame is regular.

14: IF externa is not saudável AND cobertura is not total AND ordem is correta AND acido is condiloma AND força is adequada AND toque is not saudável AND conduta is biopsia THEN exame is ruim.

15: IF externa is not saudável AND cobertura is not total AND ordem is not correta AND acido is condiloma AND força is adequada AND toque is saudável AND conduta is biopsia THEN exame is ruim.

16: IF externa is not saudável AND cobertura is not total AND ordem is not correta AND acido is condiloma AND força is adequada AND toque is not saudável AND conduta is biopsia THEN exame is ruim.

17: acido is not condiloma OR força is not adequada OR conduta is not biopsia THEN exame is muito ruim.

- **Situação VI – Colpito:**

1: IF externa is saudável AND cobertura is total AND ordem is correta AND lugol is colpito AND força is adequada AND toque is saudável AND conduta is colposcopia THEN exame is correto.

2: IF externa is saudável AND cobertura is total AND ordem is correta AND lugol is colpito AND força is adequada AND toque is not saudável AND conduta is colposcopia THEN exame is muito bom.

3: IF externa is saudável AND cobertura is total AND ordem is not correta AND lugol is colpito AND força is adequada AND toque is saudável AND conduta is colposcopia THEN exame is muito bom.

4: IF externa is saudável AND cobertura is total AND ordem is not correta AND lugol is colpito AND força is adequada AND toque is not saudável AND conduta is colposcopia THEN exame is regular.

5: IF externa is saudável AND cobertura is not total AND ordem is correta AND lugol is

colpите AND força is adequada AND toque is saudável AND conduta is colposcopia THEN exame is muito bom.

6: IF externa is saudável AND cobertura is not total AND ordem is correta AND lugol is colpите AND força is adequada AND toque is not saudável AND conduta is colposcopia THEN exame is regular.

7: IF externa is saudável AND cobertura is not total AND ordem is not correta AND lugol is colpите AND força is adequada AND toque is saudável AND conduta is colposcopia THEN exame is regular.

8: IF externa is saudável AND cobertura is not total AND ordem is not correta AND lugol is colpите AND força is adequada AND toque is not saudável AND conduta is colposcopia THEN exame is ruim.

9: IF externa is not saudável AND cobertura is total AND ordem is correta AND lugol is colpите AND força is adequada AND toque is saudável AND conduta is colposcopia THEN exame is muito bom.

10: IF externa is not saudável AND cobertura is total AND ordem is correta AND lugol is colpите AND força is adequada AND toque is not saudável AND conduta is colposcopia THEN exame is regular.

11: IF externa is not saudável AND cobertura is total AND ordem is not correta AND lugol is colpите AND força is adequada AND toque is saudável AND conduta is colposcopia THEN exame is regular.

12: IF externa is not saudável AND cobertura is total AND ordem is not correta AND lugol is colpите AND força is adequada AND toque is not saudável AND conduta is colposcopia THEN exame is ruim.

13: IF externa is not saudável AND cobertura is not total AND ordem is correta AND lugol is colpíte AND força is adequada AND toque is saudável AND conduta is colposcopia THEN exame is regular.

14: IF externa is not saudável AND cobertura is not total AND ordem is correta AND lugol is colpíte AND força is adequada AND toque is not saudável AND conduta is colposcopia THEN exame is ruim.

15: IF externa is not saudável AND cobertura is not total AND ordem is not correta AND lugol is colpíte AND força is adequada AND toque is saudável AND conduta is colposcopia THEN exame is ruim.

16: IF externa is not saudável AND cobertura is not total AND ordem is not correta AND lugol is colpíte AND força is adequada AND toque is not saudável AND conduta is colposcopia THEN exame is ruim.

17: lugol is not colpíte OR força is not adequada OR conduta is not colposcopia THEN exame is muito ruim.

- **Situação VII – Herpes:**

1: IF externa is bolha AND conduta is medicamento THEN exame is correto.

2: IF externa is ulcera AND conduta is medicamento THEN exame is correto.

3: IF externa is bolha AND conduta is not medicamento THEN exame is regular.

4: IF externa is not bolha AND conduta is medicamento THEN exame is regular.

5: IF externa is saudavel AND conduta is not medicamento THEN exame is muito ruim.

Anexo V – Questionário de avaliação do sistema

1. Com relação às características visuais, é possível visualizar as seguintes situações?

Colo com JEC visível	<input type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não
Colo com JEC invisível	<input type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não
Colo com cistos de naboth	<input type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não
Colo com condiloma	<input type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não
Colo com leucoplasia	<input type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não
Colo com colpíte	<input type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não
Vagina com herpes	<input type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não

2. Com relação às características visuais, a aplicação de ácido acético e lugol resultou em situações semelhantes às observadas na situação real, para os seguintes casos?

Colo com JEC visível	<input type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não
Colo com JEC invisível	<input type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não
Colo com cistos de naboth	<input type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não
Colo com condiloma	<input type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não
Colo com leucoplasia	<input type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não
Colo com colpíte	<input type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não

3. Na etapa de coleta, é possível realizar o movimento semelhante ao que é realizado no exame real?

Sim Não

4. Na etapa de toque, é possível sentir as seguintes situações?

Colo saudável	<input type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não
Colo enrijecido	<input type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não
Colo friável	<input type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não

5. As queixas das pacientes no modo de treinamento estão próximas às observadas no mundo real?

Sim Não

6. Os textos descritivos das etapas apresentados no modo de estudo estão corretos?

Sim Não

7. Com relação ao modo de treinamento, o sistema foi capaz de avaliar a interação do usuário e detectar aonde foram realizados os erros na realização do procedimento?

Sim Não

8. Na sua opinião, de uma forma geral, o sistema conseguiu recriar a experiência da realização de um exame ginecológico?

Sim Não

9. Você teve alguma dificuldade na utilização do sistema?

Sim (Em caso de resposta afirmativa, marcar uma das alternativas abaixo) Não

Dificuldade de adaptação com dispositivo

Dificuldade de diferenciação das estruturas tridimensionais

Outros (Detalhar abaixo)
