



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

# **Colaboração em Sistemas de Realidade Virtual voltados ao Treinamento Médico: um Módulo para o *Framework* CyberMed**

Bruno Rafael de Araújo Sales

**João Pessoa**

**2010**

Bruno Rafael de Araújo Sales

# **Colaboração em Sistemas de Realidade Virtual voltados ao Treinamento Médico: um Módulo para o *Framework CyberMed***

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<sup>a</sup>. Dra Liliane dos Santos Machado  
Prof. Dr. Ronei Marcos de Moraes

**João Pessoa**

**2010**

S163c Sales, Bruno Rafael de Araújo.

Colaboração em sistemas de realidade virtual voltados ao treinamento médico: um módulo para o *Framework CyberMed* /Bruno Rafael de Araújo Sales . - - João Pessoa: [s.n.], 2010.  
108 f.

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

1.Informática 2.Realidade virtual. 3. Realidade virtual-Simulações médicas .  
4.Realidade virtual - Ensino médico – Treinamentos.

UFPB/BC

CDU: 004(043)


1

Ata da Sessão Pública de Defesa de Dissertação de Mestrado do BRUNO RAFAEL DE ARAUJO SALES, candidato ao Título de Mestre em Informática na Área de Sistemas de Computação, realizada em 12 de julho de 2010.

2

3  
4 Aos doze dias do mês de julho do ano dois mil e dez, às quatorze horas, na Sala de Reunião  
5 do Centro de Ciências Exatas e da Natureza da Universidade Federal da Paraíba, reuniram-  
6 se os membros da Banca Examinadora constituída para examinar o candidato ao grau de  
7 Mestre em Informática, na área de “Sistemas de Computação”, na linha de pesquisa  
8 “Processamento de Sinais e Sistemas Gráficos”, o Sr. Bruno Rafael de Araujo Sales. A  
9 comissão examinadora composta pelos professores doutores: Liliane dos Santos Machado  
10 (DI - UFPB), Primeiro Orientador e Presidente da Banca Examinadora e Ronei Marcos de  
11 Moraes como Segundo Orientador (DI-UFPB), Tatiana Aires Tavares (DI-UFPB), como  
12 examinador interno, Selan Rodrigues dos Santos (UFRN) e Maria Teresa Restivo  
13 (Universidade de Porto/Portugal) como examinadores externos. Dando início aos trabalhos,  
14 a Profª. Liliane dos Santos Machado, cumprimentou os presentes, comunicou aos mesmos a  
15 finalidade da reunião e passou a palavra ao candidato para que o mesmo fizesse, oralmente,  
16 a exposição do trabalho de dissertação intitulado “Colaboração em Sistemas de Realidade  
17 Virtual voltados ao Treinamento Médico: um Módulo para o Framework CyberMed”.  
18 Concluída a exposição, o candidato foi argüido pela Banca Examinadora que emitiu o  
19 seguinte parecer: “aprovado”. Assim sendo, deve a Universidade Federal da Paraíba  
20 expedir o respectivo diploma de Mestre em Informática na forma da lei e, para constar, o  
21 professor Lucídio dos Anjos Formiga Cabral, Sr. Vice-Coordenador do PPGI, lavrou a  
22 presente ata, que vai assinada por ele, e pelos membros da Banca Examinadora. João  
23 Pessoa, 12 de julho de 2010.

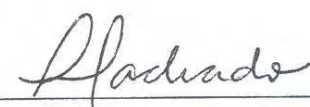
24

  
Lucídio dos Anjos Formiga Cabral

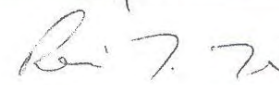
25

26

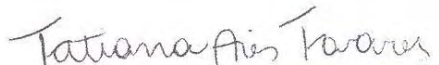
Profª. Dra. Liliane dos Santos Machado  
Primeiro Orientador (DI-UFPB)

  
\_\_\_\_\_


Prof. Dr. Ronei Marcos de Moraes  
Segundo Orientador (DI-UFPB)

  
\_\_\_\_\_

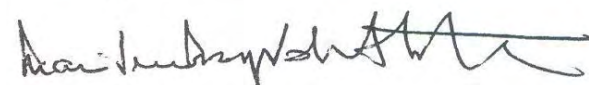
Profª. Drª. Tatiana Aires Tavares  
Examinador Interno (DI-UFPB)

  
\_\_\_\_\_

Prof. Dr. Selan Rodrigues dos Santos  
Examinador Externo – UFRN

  
\_\_\_\_\_

Profª Drª Maria Teresa Restivo  
Examinador Externo (Universidade do Porto)

  
\_\_\_\_\_

27

## **AGRADECIMENTOS**

Diante da força de vontade e paciência que me foram proporcionados durante o desenvolvimento deste trabalho, quero agradecer primeiramente a Deus. Ele me deu sempre sustentação e me iluminou para fazer boas escolhas perante as dúvidas que a vida nos trás.

Agradeço, em especial, à minha família, pelo incentivo e apoio incondicional às minhas decisões. Ao amor e dedicação da minha mãe, Edla, ao meu pai, Flávio, pelo exemplo que sempre me foi de inteligência e honestidade, à minha irmã, Giovanna, e a todos os outros familiares que sempre me incentivaram.

À minha namorada, Daniely, por todo seu amor, carinho, compreensão e companheirismo que me auxiliaram bastante nos momentos de preocupação e indecisão.

Aos meus orientadores, Liliane dos Santos Machado e Ronei Marcos de Moraes, pelas oportunidades que me foram oferecidas, além da dedicação nos ensinamentos e compartilhamento de experiências ao longo do trabalho. Também ao Programa de Pós-Graduação em Informática a aos professores com os quais tive oportunidade de estudar.

Aos amigos do Laboratório de Tecnologias para Ensino Virtual e Estatística, que conviveram comigo durante esses anos, compartilhando momentos de ensino, aprendizado e muitas vezes, diversão. Em especial a Alysson Diniz e Daniel Faustino por estarem sempre dispostos a me ajudar.

Finalmente, gostaria de agradecer a todos que de alguma forma fizeram parte desta caminhada. Meus amigos, colegas de curso, dentre outras pessoas que estiveram presentes em diversos momentos importantes da minha vida.

Muito Obrigado!!!

## RESUMO

A Realidade Virtual (RV) e sistemas que utilizam suas técnicas possuem uma história bastante recente sob o ponto de vista prático e social da sua aplicação. A RV é utilizada principalmente para a construção de ambientes tridimensionais nos quais usuários podem explorar e interagir em mundos virtuais e se sentirem imersos e/ou envolvidos durante este processo. Atualmente, trabalhos que utilizam a RV com o objetivo de ensinar ou realizar treinamentos são facilmente encontrados na literatura. Na Medicina, a RV destaca-se em aplicações realistas para treinamento de procedimentos críticos. A colaboração em ambientes de RV para treinamento médico permite que estudantes compartilhem seus conhecimentos ou que sejam auxiliados por um tutor durante uma simulação.

O objetivo principal deste trabalho é o desenvolvimento de um módulo de colaboração interativa para o CyberMed, *framework* desenvolvido desde 2004 voltado para a construção de simulações médicas com RV. O desenvolvimento do módulo de colaboração consistiu inicialmente na análise e definição de um protocolo de troca de mensagens pela rede e das formas de colaboração relevantes para simulações médicas. A partir dos resultados foi realizada a implementação de classes para suportar os diferentes dispositivos de interação disponibilizados pelo *framework*, permitindo a colaboração através de *mouse*, dispositivos hápticos e dispositivos de rastreamento. Após o desenvolvimento do módulo e sua integração ao CyberMed foram construídas aplicações para validar as novas funcionalidades. Em particular, uma simulação de procedimento de coleta de medula óssea foi adaptada para prover colaboração com sensação de toque e força (háptica) entre usuários dispostos remotamente. O novo módulo juntamente com o restante do *framework* possibilita a criação de simulações médicas colaborativas que podem ser utilizadas por profissionais e estudantes no treinamento de procedimentos médicos.

**Palavras-chave:** colaboração, ensino médico, treinamento, realidade virtual

## ABSTRACT

Virtual Reality (VR) and systems that use its techniques have a recent story from the point of view of their social and practical application. The main idea related to VR refers to the use of three-dimensional environments in which users can explore and interact in virtual worlds and feel immersed and involved. Currently, works that use VR to teaching or conduct trainings are commonly found in literature. In medicine, VR have been used for realistic applications for training of critical procedures. Collaborative VR environments for medical training can allow students to share knowledge or to be assisted by a tutor during a simulation.

The objective of this work is to present the process of developing a module for interactive collaboration for the CyberMed, a framework developed since 2004 to help building medical simulations with VR technologies. This module enables collaboration in medical applications with interaction among multiple users. The development of the module consisted on analyzing and defining a protocol for exchanging messages over network, and implementation of some forms of cooperation relevant to medical simulations. The results were a set of classes to support different devices provided by the framework, allowing collaboration by mouse, haptic and tracking devices. Applications were built to validate the module implemented and its integration with CyberMed. In particular, a simulation of the bone marrow harvest procedure was adapted to provide collaboration with touch and force feedback (haptic) among remote users. The integration of this new module enables the creation of collaborative medical simulations with CyberMed that can be used by professionals and students in the training of medical procedures.

**Keywords:** collaborative systems, virtual reality, medical education, simulated training

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Incisão na pele utilizando um bisturi.....	28
Figura 2: Exemplos de dispositivos hápticos. À esquerda, um joystick, no centro uma luva, e à direita o Phantom. Todos eles provêm retorno de força.....	29
Figura 3: Fluxo de dados na colaboração 1 para 1. Em a) um usuário participa ativamente enquanto outro apenas recebe informações sobre as interações do primeiro. Em b) os dois participantes trocam informações entre si. ....	36
Figura 4: Representação do fluxo de dados na colaboração 1 para vários.....	37
Figura 5: Representação do fluxo de dados na colaboração Vários para Vários. ....	38
Figura 6: À esquerda, ilustração da interface gráfica do Virtual ED. À direita, usuário utilizando o sistema [Heinrichs et al., 2008]. ....	43
Figura 7: Interface gráfica apresentada ao usuário do sistema WebSET [Alverson et al., 2004]. ....	45
Figura 8: Ambiente Virtual composto por um cubo (objeto a ser manipulado pelos usuários) e uma esfera (local para onde o cubo deve ser levado pelos usuários), utilizado por [You et al., 2007]. ....	46
Figura 9: Esboço do esquema utilizado por Kim et al., (2004) para realizar colaboração háptica entre dois participantes situados geograficamente distantes.....	47
Figura 10: Representação do funcionamento de uma colaboração em um procedimento médico. Na imagem à esquerda o tutor realiza o procedimento enquanto outros participantes situados remotamente são guiados por ele. Na imagem à direita é mostrado o ambiente virtual em que os participantes estão inseridos. Adaptado de [Gunn et al., 2005]. ....	48
Figura 11: Ambientes desenvolvidos para ensino de anatomia e treinamento de manobras básicas de cirurgia. A imagem mais a esquerda é referente à aplicação para	

ensino de anatomia. As outras imagens referem-se à aplicação de treinamento cirúrgico [Dev et al., 2002]. .....	49
Figura 12: Arquitetura cliente/servidor adicionada de alguns módulos nos ambientes desenvolvidos por [Dev et al., 2002]. .....	50
Figura 13: Arquitetura do <i>framework</i> idealizado por Dev e LeRoy (2008), demonstrando todas as suas camadas.....	53
Figura 14: Utilização do SOFA no desenvolvimento de Ambiente Virtual para estudo de medicina [Allard et al., 2007]. .....	54
Figura 15: Aplicação para simulação do procedimento de coleta de material mamário desenvolvida com o ViMeT [Oliveira, 2007]. .....	55
Figura 16: Ambiente Virtual Colaborativo construído com o SSVE. A imagem exhibe avatares representando os usuários que colaboram, identificados por cores diferentes. ....	56
Figura 17: Algumas aplicações desenvolvidas com o CyberMed [Machado et al., 2004]. ....	57
Figura 18: Disposição dos usuários nas duas técnicas de manipulação de objetos. Em (a) todos interagem simultaneamente com um mesmo objeto e a união de interações é feita. Em (b) no momento em que um usuário começa a interagir com o objeto, este fica bloqueado para interação dos demais.....	66
Figura 19: Exemplos de dispositivos de interação que o módulo prevê. À esquerda o <i>mouse</i> , dispositivo convencional bastante utilizado atualmente. No meio o PHANTOM, dispositivo de retorno háptico, não convencional, utilizado em tarefas de natureza tátil. À direita um exemplo de dispositivo de rastreamento, o Flock of Birds. ....	67
Figura 20: Visão geral da arquitetura do CyberMed e suas camadas. Adaptado de Machado et al. (2009). .....	70
Figura 21: Visão geral da arquitetura do CyberMed após a inserção dos módulos de	

Colaboração e Comunicação na camada Motor de Aplicação. ....	70
Figura 22: Classe <i>CybIterator</i> e seus relacionamento com as demais classes que fazem parte da interação do CyberMed. O padrão Factory foi adotado para centralizar a instanciação de objetos de interadores e facilitar a manutenção e expansão. ....	72
Figura 23: Exemplo de código para solicitar um interador. ....	72
Figura 24: Trecho de código para desenhar os interadores no ambiente virtual. ....	73
Figura 25: Estrutura das classes do módulo de Colaboração construído para o CyberMed. ....	76
Figura 26: <i>CybCollaboration</i> como subclasse de todos os <i>Listeners</i> . ....	77
Figura 27: Sequência de passos do protocolo para dar início a colaboração entre dois usuários. ....	79
Figura 28: Dependência entre os módulos <i>CybCollaboration</i> e <i>CybNetwork</i> . ....	81
Figura 29: Ilustração do fluxo de dados da aplicação. ....	85
Figura 30: Colaboração háptica um para um, sendo um dos participantes o tutor e o outro o tutorado [Sales & Machado, 2009]. ....	86
Figura 31: Códigos para colaboração através do <i>mouse</i> em aplicação desenvolvida com o Cybermed. Em A, código para criar uma colaboração. Em B, código para solicitar participação em colaboração existente. ....	88
Figura 32: Códigos para colaboração através de dispositivos hápticos em aplicação desenvolvida com o Cybermed. A criação (A) e a requisição de participação (B) são semelhantes à colaboração por meio do <i>mouse</i> . ....	89
Figura 33: Aplicação teste para colaboração através do mouse. À esquerda, três computadores executando a aplicação, compartilhando o mesmo ambiente. À direita, dois participantes explorando o ambiente por meio de seus dispositivos. ....	90
Figura 34: Simulação colaborativa do procedimento de coleta de medula óssea com	

dois participantes, um atuando como tutor outro como tutorado.....93

## Lista de Tabelas

- Tabela 1: Descrição resumida de alguns *frameworks* para desenvolvimento de aplicações médicas. 58
- Tabela 2: Taxas de dados (recebidos) atingidas durante colaboração através do *mouse* com números de participantes diferentes. 91
- Tabela 3: Taxas de dados atingidas durante colaboração através do PHANToM, com números de participantes diferentes, interagindo ou não com objetos presentes no ambiente virtual. 92

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>Introdução.....</b>	<b>15</b>
1.1.	Motivação.....	17
1.2.	Relevância.....	18
1.3.	Objetivos.....	19
1.4.	Contribuição.....	20
1.5.	Trabalhos Correlatos na Instituição.....	21
1.6.	Estrutura da dissertação.....	21
<b>2</b>	<b>Colaboração em Ambientes de RV: Conceitos e Classificação.....</b>	<b>23</b>
2.1.1.	Realidade Virtual na Medicina.....	24
2.2.	Sistemas Hápticos.....	27
2.3.	Colaboração.....	29
2.3.1.	Presença.....	30
2.3.2.	Aprendizagem através da colaboração.....	32
2.3.3.	Colaboração Háptica.....	33
2.3.4.	Classificação de Ambientes Virtuais Colaborativos.....	34
2.4.	Conclusão.....	39
<b>3</b>	<b>Estado da Arte de Sistemas de RV Colaborativos para a Área Médica.....</b>	<b>41</b>
3.1.	Ambientes Virtuais Colaborativos para Treinamento Médico.....	42
3.2.	<i>Frameworks</i> para Desenvolvimento de Aplicações de RV na Área Médica.....	50
3.3.	Conclusão.....	61
<b>4</b>	<b>Colaboração para o CyberMed.....</b>	<b>62</b>
4.1.	Concepção.....	64
4.1.1.	Requisitos.....	65
4.2.	Desenvolvimento.....	69
4.2.1.	Inserção do <i>CybCollaboration</i> na Arquitetura do CyberMed.....	69
4.2.2.	Modificações no CyberMed.....	70
4.2.3.	O Módulo de Colaboração.....	75

4.3. Conclusão .....	81
<b>5 Resultados .....</b>	<b>82</b>
5.1. Resultados Iniciais .....	83
5.1.1. Guia através de posições do dispositivo háptico .....	85
5.1.2. Interação livre com o dispositivo háptico .....	86
5.2. Utilização e Testes do Cybcollaboration .....	87
5.2.1. Testes .....	89
5.3. Conclusão .....	93
<b>6 Conclusões .....</b>	<b>95</b>
6.1. Trabalhos Futuros .....	97
6.2. Considerações Finais .....	98
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>100</b>

# **1** **Introdução**

A Realidade Virtual (RV) tem se consolidado como uma nova e eficaz maneira de auxiliar o ensino em diversos campos [Youngblut, 1998] [Blas & Poggi, 2007]. Ela possibilita a realização de experimentos multisensoriais através da interação do usuário com ambientes gerados por computador. A engenharia, a aviação, a indústria petrolífera e militar são alguns exemplos de campos que já fazem uso de Ambientes Virtuais (AV) tridimensionais com propósitos diferentes. Na área médica a RV tem se tornado um instrumento alternativo para treinamento de procedimentos médicos e uma ferramenta de apoio à realização de práticas laboratoriais.

Alguns fatores como o custo dos treinamentos além de questões éticas, têm contribuído para que a comunidade médica busque formas alternativas de treinamentos para os procedimentos médicos. Nesse contexto, a RV se insere com o intuito de aprimorar as técnicas de treinamento existentes e reduzir as falhas presentes em outras formas de treinamento. Assim, a utilização dos AVs traz consigo a característica de o aluno poder interagir e realizar na prática tarefas que antes eram apenas assistidas. Neste trabalho, o termo Ambiente Virtual será aplicado a ambientes tridimensionais gerados por computador por meio de técnicas e ferramentas de RV.

A RV possibilita a geração de ambientes que replicam cenários específicos de forma que os estudantes possam participar de treinamentos em níveis variados. Os ambientes podem ser elaborados dando enfoque aos pontos chaves de um procedimento, ou até mesmo pontos nos quais a ocorrência de erros é frequentemente verificada. Além disso, há a liberdade para que o procedimento seja repetido quantas vezes se desejar, até que o estudante esteja apto a realizar o procedimento em um paciente real. No entanto, há casos em que exigem uma equipe médica, ao invés de um único médico, para realizar o procedimento. Nestes casos, para que a simulação computacional reflita situações do mundo real é necessária a adição do aspecto colaborativo nos AVs. Dessa forma torna-se possível a interação de vários participantes em um determinado procedimento. Os AVs que possibilitam diversos usuários a estarem presentes no mesmo espaço simultaneamente, interagindo entre si, são denominados Ambientes Virtuais Colaborativos (AVC) [Benford et al., 2001]. A

colaboração é abordada neste trabalho como a troca de informações através da interação dos usuários sobre um AV compartilhado e visualizada simultaneamente por todos os usuários envolvidos.

Neste trabalho a colaboração em Ambientes Virtuais é vista e discutida como uma forma de auxiliar estudantes e profissionais no processo de treinamento de procedimentos médicos, inclusive à distância. O trabalho descreve o desenvolvimento de um Módulo de Colaboração integrado ao *framework* CyberMed [Machado et al., 2004] [Machado et al., 2009]. Com o módulo integrado, este *framework* foi utilizado para a realização de um estudo de caso de um ambiente virtual colaborativo para coleta de medula óssea.

## **1.1. Motivação**

Apesar de o nível de tecnologia encontrado nas salas de cirurgias atuais estar bastante avançado em relação ao século passado, as formas de treinamento cirúrgico para estudantes e profissionais da área médica ainda não são as ideais. Frequentemente estudantes de cursos relacionados à saúde precisam assistir aos cirurgiões mais experientes realizarem procedimentos na sala de operação. Outros métodos de treinamento, como a utilização de animais ou procedimentos *in vitro*, também fazem parte da formação de um cirurgião. Em vários destes casos, o treinamento em equipe é fundamental para que o estudante possa passar por situações semelhantes ao que encontrará na atuação profissional.

A simulação computacional de procedimentos médicos tem sido bastante explorada como nova forma de treinamento para estudantes da área de saúde [Machado et al., 2006] [Riva, 2003]. Algumas dessas simulações contam com a presença do aspecto colaborativo para promover o trabalho em equipe dos participantes. A realização de atividades em grupo dentro de ambientes virtuais de simulação médica é fundamental para que alguns procedimentos médicos reais que são feitos em grupo, sejam replicados de maneira completa, de maneira que quem esteja

participando da simulação possa ser submetido a situações semelhantes às reais.

A colaboração em AVs pode ser aplicada ainda como ferramenta de tutoria à distância. Trata-se de um ponto importante a ser explorado por ambientes virtuais colaborativos voltados para a Medicina, visto que possibilita a troca de informações entre profissionais capacitados (possíveis tutores) e estudantes. A colaboração entre tutor e estudantes e entre os próprios estudantes pode implicar em benefícios diretos ao ensino e aprendizado do assunto que estiver sendo abordado, no caso, assuntos relacionados à Medicina.

A construção de AVs para simulação médica é suportada, na maioria das vezes, por um conjunto de serviços já existente, na tentativa de minimizar o tempo de desenvolvimento e reduzir os custos financeiros. Embora existam diversos *frameworks* para o auxílio ao desenvolvimento de simulações médicas [Allard et al., 2007] [Goktekin et al., 2004], alguns deles não abordam a colaboração e os outros, quando abordam, não levam em conta alguns aspectos como: diferentes formas de manipulação de objetos, colaboração com dispositivos não-convencionais e avaliação do usuário, dentre outros. Este fato motiva ainda mais o estudo das principais formas existentes de colaboração relacionadas à necessidade dos procedimentos médicos, bem como a disponibilização de ferramentas para agilizar o desenvolvimento de aplicações colaborativas baseadas em RV.

## **1.2. Relevância**

O aspecto colaborativo tem se mostrado um verdadeiro aliado das aplicações de RV que pretendem de alguma forma, fazer com que o usuário adquira ou aprimore conhecimentos. A experiência fundamental dos Ambientes Virtuais Colaborativos (AVC) é o fato de usuários situados geograficamente distantes poderem se comunicar através de ações dentro de um Ambiente Virtual [Benford et al., 2001]. Dessa forma, é possível desenvolver ambientes de cunho educacional nos quais o aprendizado é obtido de maneira participativa na perspectiva do usuário, isto é, ele deixa de ser apenas um

ouvinte e passa a ser participante do processo de construção do seu conhecimento e do conhecimento de outrem.

Em ambientes que simulam o treinamento médico, há a necessidade de que o procedimento real seja simulado com fidelidade. Muitos procedimentos médicos são realizados por mais de um profissional que formam uma equipe médica para trabalhar em conjunto. Nesse contexto, a presença do aspecto colaborativo na simulação se torna essencial para que o sentimento do trabalho em equipe seja vivenciado também no ambiente virtual.

Atualmente muitos AVCs estão em desenvolvimento ou já estão sendo utilizados por grupos de pesquisa ou na área comercial [Bernardo et al., 2008]. A utilização de *frameworks* pode auxiliar os desenvolvedores, visto que estes provêm serviços que podem diminuir o tempo de construção do ambiente e até mesmo aumentar a qualidade do produto final. O CyberMed, por exemplo, é um *framework* rico em funcionalidades, desenvolvido no Brasil com o intuito de agilizar o processo de desenvolvimento de sistemas para educação médica baseada em RV [Machado et al., 2004]. A diversidade de funcionalidades presentes do CyberMed permite a construção de simulações que podem conter características diferentes, se adequando ao procedimento que se deseja simular. Adicionar a possibilidade de colaboração entre participantes de uma simulação constitui um aumento significativo da variabilidade de simulações possíveis de serem construídas com o *framework*. Dessa maneira, permite-se a criação de simulações de procedimentos médicos que são realizados em equipe. Além disso, é relevante ressaltar que o suporte a colaboração dá a possibilidade de pessoas participarem de uma simulação mesmo estando geograficamente distantes, o que viabiliza a criação de diferentes cenários como, por exemplo, a tutoria à distância de procedimentos médicos.

### **1.3. Objetivos**

O objetivo principal deste trabalho é estudar e analisar os principais tipos de colaboração possíveis de serem incorporados a AVs voltados para a Medicina e com

isso desenvolver um Módulo de Colaboração para ser integrado ao *framework* CyberMed. A análise foi feita no sentido de entender que atividades de treinamento médico podem ser inseridas em um contexto colaborativo e, para cada atividade, qual o tipo de colaboração mais adequado.

Como objetivos secundários pretende-se verificar os requisitos para utilização de diferentes formas de colaboração em um mesmo AV, realizar o desenvolvimento de aplicações para validação e um estudo de caso referente a um ambiente colaborativo para treinamento médico no procedimento de coleta de medula óssea.

#### **1.4. Contribuição**

A contribuição maior deste trabalho é a integração e disponibilização de um módulo de colaboração ao *framework* CyberMed possibilitando assim a construção de Ambientes Virtuais Colaborativos com todas as funcionalidades já fornecidas pelo *framework*. A validação deste módulo e sua integração é feita através de um estudo de caso desenvolvido com o CyberMed para a simulação de um ambiente de treinamento médico relativo ao procedimento de coleta de medula óssea. Entretanto, este novo módulo permite outras formas de colaboração de modo a adequar-se a outros tipos de procedimento médico.

A disponibilização do módulo de colaboração integrado ao CyberMed possibilita o desenvolvimento de aplicações para simulações médicas que permitem atividades colaborativas. Com isso, é possível atender às demandas por novas formas de treinamento médico para estudantes, bem como para profissionais da área médica que precisem aprender novas técnicas. Observa-se que o CyberMed, juntamente com o novo módulo de colaboração, permite também que outros tipos de aplicações sejam desenvolvidas, mesmo estas não sendo voltadas para ensino e aprendizado de medicina.

## **1.5. Trabalhos Correlatos na Instituição**

Este trabalho está inserido no Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia de Medicina Assistida por Computação Científica, financiado pelo CNPq desde 2009, que tem como um dos seus objetivos realizar pesquisa e desenvolvimento em computação científica e suas aplicações na Medicina, em especial a modelagem e simulação computacional dos sistemas fisiológicos que integram o corpo humano. Parte deste trabalho está sendo desenvolvido no Laboratório de Tecnologias para o Ensino Virtual e Estatística da Universidade Federal da Paraíba (LabTEVE-UFPB), cuja responsabilidade relaciona-se à integração de sistemas hápticos em atividades médicas colaborativas.

Dentre os trabalhos que estão relacionados com este, podem ser citados o desenvolvimento de um laboratório remoto que utiliza retorno háptico para educação à distância [Pereira et al., 2008] provendo assim uma melhor exploração e percepção de experimentos de natureza física.

## **1.6. Estrutura da dissertação**

Este documento está dividido em 6 capítulos relativos aos pontos principais do trabalho. O Capítulo 1 apresenta o trabalho de maneira geral, descrevendo sua motivação, relevância, objetivos principais e secundários, contribuição, trabalhos correlatos na instituição e estrutura da dissertação. Alguns conceitos básicos de Realidade Virtual e conceitos relacionados à colaboração e a sistemas hápticos são descritos no Capítulo 2. É feita, ainda neste capítulo, uma classificação dos tipos de colaboração mais utilizados atualmente por Ambientes Virtuais Colaborativos (AVC) para a área médica. O Capítulo 3 expõe alguns AVCs desenvolvidos por grupos de pesquisa da área, bem como a utilização desses ambientes para o treinamento médico. São analisados ainda *frameworks* que dão suporte ao desenvolvimento de simulações médicas. Já o Capítulo 4 descreve todo o desenvolvimento do módulo

*CybCollaboration*, desde a sua concepção até a integração com o CyberMed. O Capítulo 5 diz respeito aos resultados do trabalho. É descrito como foram feitas aplicações de teste e validação do módulo, assim como uma simulação colaborativa do procedimento de coleta de medula óssea. No capítulo 6 são feitas algumas considerações a respeito do trabalho apresentado além de sugestões para trabalhos futuros.

# **2 Colaboração em Ambientes de RV: Conceitos e Classificação**

Nas últimas décadas a Realidade Virtual (RV) tem sido considerada uma forma de interação homem-máquina com grande potencial. A utilização de representações tridimensionais e meios de interação mais naturais aproximam sistemas computacionais à realidade do usuário [Kirner & Siscoutto, 2007]. Isso tudo fez com que a RV passasse ter um reconhecimento maior pela comunidade científica, alavancando vários grupos de pesquisa a investigar novas técnicas e abordagens, além da utilização desta tecnologia por diversas áreas [Burdea & Coiffet, 2003].

O termo Realidade Virtual é definido de inúmeras formas por diversos autores. A maioria das definições é semelhante contendo diferenças sutis. Kirner e Siscoutto (2007) definem RV como uma interface avançada do usuário para ter acesso a aplicações computacionais que provêm interação, visualização e movimentação em tempo real, em ambientes tridimensionais. Já Fitzgerald e Riva (2001) a definem como um mundo, espaço ou ambiente que não existe, ou seja, é virtual, mas que se pode perceber e interagir através dos sentidos, tal como é feito no mundo real. Para prover as sensações necessárias e estimular os sentidos humanos são utilizadas tecnologias como, dentre outras, a computação gráfica e a eletrônica, na tentativa de convencer o usuário de que ele se encontra em uma realidade diferente [Pimentel & Teixeira, 1995] [Burdea & Coiffet, 2003].

Apesar de existirem a algum tempo, só nos últimos anos os sistemas de RV começaram a sair da área acadêmica e da militar e ganharam espaço nos mais diversos campos tais como Medicina [Riva, 2003], Educação [Blas & Poggi, 2007], entretenimento [Linden Lab, 2009] entre outros. A utilização de RV na medicina merece destaque devido às vantagens acarretadas pelos ambientes virtuais para os diversos ramos da área médica. Vantagens estas que possibilitam novas formas de procedimentos ou treinamentos médicos dentre outras coisas.

### **2.1.1. Realidade Virtual na Medicina**

Desde o advento da comunicação eletrônica, clínicos vêm utilizando tecnologias

da informação e comunicação na área de saúde [Wootton, 1999]. Além disso, tecnologias já bastante utilizadas há cerca de dez anos como a Internet, o *e-mail* e a videoconferência tornaram-se métodos comuns para diagnósticos, terapia, educação e treinamento [Riva, 2003]. Observa-se, entretanto, que a realidade virtual unida às tecnologias citadas, pode proporcionar benefícios à medicina considerados bem mais abrangentes e impactantes.

O que deixa os Ambientes Virtuais (AV) ainda mais interessantes é a alta flexibilidade e capacidade de adaptação. Devido a este fator, os AVs podem ser utilizados em diversos contextos onde cada um pode possuir uma abordagem ou objetivo diferentes. Na medicina a RV pode ser utilizada juntamente com outras tecnologias para a construção de ambientes de simulação de procedimentos médicos. Para Riva (2003) existem, entre outras, duas visões distintas de RV, uma formulada por físicos e cirurgiões e outra proveniente de psicólogos clínicos e especialistas em reabilitação. Para os primeiros, a meta maior da RV é a apresentação de modelos virtuais para todos os sentidos humanos de forma idêntica à real. Nesse contexto, um sistema de RV deve conter partes do corpo humano ou avatares semelhantes ao real e que possam responder a interações de dispositivos externos, análogos aos instrumentos de cirurgia, de forma mais parecida possível ao que ocorreria na realidade. Essa nova forma de treinamento utilizando RV deve permitir que o médico tenha as impressões sensoriais semelhantes às do procedimento real, preparando-o técnica e psicologicamente para enfrentar uma situação real. Já os psicólogos clínicos e especialistas em reabilitação fazem uso da RV para prover uma nova forma de interação homem-máquina na qual o usuário deixa de ser apenas um observador de imagens na tela de um computador e passa a participar ativamente em um AV gerado por computador. Nesses ambientes, os usuários têm a possibilidade de lidar com situações problemáticas que serão enfrentadas mais à frente em suas vidas profissionais.

A característica de flexibilidade dos AVs possibilita a construção de variadas aplicações com objetivos diferentes. Na Medicina essas aplicações podem ser

classificadas, dentre outros, em alguns grupos diferentes:

- Aplicações para Ensino: o ensino de anatomia, por exemplo, é basicamente ilustrativo podendo obter ganho potencialmente significativo quando da utilização de ferramentas de RV [Cunha et al., 2006]. Estas permitem que estruturas anatômicas possam ser visualizadas e analisadas a partir de modelos tridimensionais, o que aumenta a percepção estrutural dos estudantes sobre tais estruturas. Além disso, a RV, através das simulações, surge como alternativa de substituição de métodos de aprendizado que demandam custo financeiro e infringem preceitos éticos.
- Aplicações para Simulação Cirúrgica e Planejamento: algumas aplicações de RV exploram o planejamento ou simulação cirúrgica para serem realizados antes da cirurgia real de fato. Os simuladores atuais provêm gráficos com alta resolução além de interação tátil, dentre outras funcionalidades, que fazem com que a eficácia do treinamento realizado nesses simuladores seja, em certos casos, maior do que a de métodos tradicionais [Sewell et al., 2007]. Adicionalmente, aplicações de RV e RA incrementam planejamentos cirúrgicos como, por exemplo, o planejamento de cirurgias neurológicas, que geralmente é feito com imagens bidimensionais (Ressonância Magnética ou Tomografia Computadorizada) e podem ser mais bem analisados através de uma representação 3D interativa.
- Avaliação neuropsicológica e reabilitação: na psicologia, a RV tem ganhado importância fundamental que tende a crescer com o passar dos anos. A possibilidade de representar virtualmente, ambientes existentes no mundo real e, além disso, monitorar reações de usuários submetidos a situações específicas oferecem um aumento considerável na eficácia de terapias quando comparadas com procedimentos tradicionais. De acordo com Riva (2003), a RV tem sido

utilizada com eficácia clínica em seis tipos de distúrbios psicológicos: acrofobia, aracnofobia, pânico e distúrbios com agorafobia, distúrbios de imagem corporal, distúrbio compulsivo alimentício, e medo de andar de avião. Na área de reabilitação cognitiva a RV pode ser utilizada para avaliação das funções de indivíduos que sofreram lesões cerebrais de maneira eficaz e com boas propriedades psicométricas [Broeren et al., 2002].

- Endoscopia virtual: a possibilidade da realização de endoscopia virtual através do uso da RV vem sendo investigada nos últimos anos [Riva, 2003]. A ideia é utilizar a tomografia computadorizada com técnicas avançadas de renderização de imagens tridimensionais para produzir visualizações dos órgãos similares às obtidas por uma endoscopia real e dessa forma realizar o exame sem que haja contato com o paciente. Assim é possível evitar situações desconfortáveis proporcionadas por alguns exames como os de colonoscopia e da endoscopia digestiva.

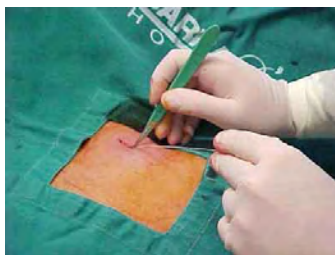
São notáveis os benefícios da RV para a área médica, especificamente nos casos citados anteriormente. Com o constante avanço das tecnologias e técnicas de interação homem-máquina e computação gráfica espera-se que haja um aumento da utilização de ferramentas de RV em aplicações voltadas para a medicina. Como visto, a possibilidade de redução de custo de procedimentos, substituição de exames invasivos por novas metodologias, além de inúmeras outras vantagens são os fatores que impulsionam a utilização da RV em aplicações médicas.

## **2.2. Sistemas Hápticos**

Nos últimos anos, a utilização de dispositivos de interação não convencionais tem se tornado evidente principalmente em ambientes que exploram além da visão e audição, outros sentidos como o tato, por exemplo. Os dispositivos de retorno tátil ou de força, também conhecidos como dispositivos hápticos, merecem destaque pela forma

como vêm sendo utilizados nos últimos anos. Em tarefas onde o tato é essencial para o usuário, estes dispositivos possibilitam uma percepção mais realista do ambiente ou de objetos, quando comparados com dispositivos convencionais como, por exemplo, o *mouse*.

Os dispositivos hápticos tornam possível o sentimento e a manipulação objetos tridimensionais com a capacidade de percepção de propriedades como forma, peso, textura, dentre outras. No entanto, o tato humano é um sentido bastante complexo e sensível. Essa alta sensibilidade dificulta a reprodução do senso de toque percebido pelo homem no mundo real e acarreta limitações aos dispositivos hápticos. Muitos deles utilizam a abordagem de toque em apenas um ponto ao invés do toque em diversos pontos como são sentidos pelos receptores de pele do ser humano [Sallnäs et al., 2000] [Sensable, 2009]. Essa abordagem parte do princípio que as propriedades de objetos podem ser sentidas através de outro objeto, isto é, ao invés de tocá-lo com as próprias mãos, o indivíduo utiliza uma ferramenta e por meio desta, toca o objeto desejado. Situações desse tipo podem ser encontradas frequentemente em procedimentos médicos (Figura 1), odontológicos dentre outros, onde são utilizadas ferramentas para o contato com o paciente.



**Figura 1: Incisão na pele utilizando um bisturi.**

O PHANToM Omni, utilizado neste trabalho, é um exemplo de dispositivo háptico que possui apenas um ponto de interação. Ele é composto por um braço mecânico com uma haste semelhante a uma caneta na extremidade. Sua estrutura adequa-se a simulações de procedimentos médicos nos quais se utilizam ferramentas como

seringas, agulhas, bisturis dentre outros instrumentos similares [Sensable, 2009]. Existem ainda diversos outros dispositivos hápticos tais como a luva de dados, o *joystick* háptico, dentre outros, que podem ser utilizados para outros propósitos. A Figura 2 ilustra dispositivos hápticos diferentes do PHANTOM.



Figura 2: Exemplos de dispositivos hápticos. À esquerda, um joystick, no centro uma luva, e à direita o Phantom. Todos eles provêm retorno de força.

### 2.3. Colaboração

O termo colaboração implica em comunicação, organização e operação em conjunto em um espaço compartilhado. Por sua vez, cooperar significa operar simultaneamente na produção, modificação e utilização de um conjunto de informações e artefatos reais ou virtuais de maneira compartilhada [Fillippo et al., 2007] [Rinaldi et al., 2006]. Na literatura, os termos colaboração e cooperação são muitas vezes utilizados como sinônimo. Entretanto alguns pesquisadores os distinguem, classificando o verbo cooperar como mais abrangente do que colaborar. Nestes casos, cooperação consiste em pessoas trabalhando juntas para produzir um produto ou serviço [Collis, 1993] enquanto que colaboração ocorre quando dois ou mais indivíduos, com habilidades complementares, interagem para criar um conhecimento compartilhado que nenhum deles possuía previamente nem poderia obter por conta própria [Nitzke & Franco, 2002].

Há algum tempo existem espaços de colaboração na Internet onde usuários

podem trocar informações e se auxiliarem. A colaboração pode ocorrer de forma síncrona ou assíncrona de acordo com a maneira em que a troca de informações entre os participantes é feita. Na colaboração síncrona, a troca de informações acontece em tempo real enquanto que na assíncrona isto não necessariamente ocorre. Como exemplo, pode-se citar os fóruns como exemplos de sistemas colaborativos assíncronos. Porém, ultimamente o surgimento de ambientes de colaboração 3D têm chamado a atenção de estudantes e professores [Blas & Poggi, 2007] [Souza et al., 2007]. Os Ambientes Virtuais Colaborativos (AVC), entenda-se por AVC ambientes tridimensionais gerados a partir de técnicas de Realidade Virtual e Computação Gráfica, são caracterizados por permitir, além da navegação e interação com objetos virtuais, a presença de dois ou mais usuários no mesmo espaço e a possibilidade de colaborarem (colaboração síncrona) na realização de tarefas específicas. Alguns autores crêem que estes ambientes são o resultado da convergência de pesquisas com interesse em Realidade Virtual (RV) e *Computer-Supported Cooperative Work* (CSCW – Trabalho Cooperativo Assistido por Computador) [Benford et al., 2001].

O que diferencia um AVC de um Ambiente Virtual (AV) de uso local é que no primeiro existe a possibilidade de interação e colaboração entre usuários distantes no decorrer da execução de uma determinada tarefa. Propriedades como: espaço, presença e tempos compartilhados; comunicação entre os participantes e; interação com o ambiente são características marcantes em ambientes desse tipo. Outro fator fundamental nos AVCs está relacionado ao senso de presença social ou sentimento de “estar junto” com outros usuários, proporcionado pela colaboração e interação entre eles.

### **2.3.1. Presença**

Nos últimos anos o conceito de presença em AVs tem recebido uma atenção especial da comunidade de Realidade Virtual. Promover o sentimento de presença tornou-se quase que um pré-requisito para os ambientes virtuais interativos. Entretanto,

ainda não há uma definição exata de tudo que pode influenciar, positiva ou negativamente, no senso de presença do usuário em um ambiente. Neste contexto, alguns grupos pesquisam sobre o que pode influenciar o sentimento de presença, além de determinar formas de mensurar o nível de presença sentido pelo usuário em um determinado ambiente [Bleumers et al., 2009].

Segundo Lombard e Ditton (1997) presença é a ilusão perceptual de não mediação, ou seja, a ilusão de que não há nada mediando a interação do usuário com o ambiente ou do usuário com outros usuários. Já para Ijsselsteijn (2000), a presença está relacionada ao senso de “estar lá”, ou seja, estar inserido em um ambiente. Possibilitar que o usuário se sinta presente em um ambiente é algo útil para aplicações em diversas áreas, tais como: educação e treinamento, telecomunicações, medicina e entretenimento. Porém, promover a presença é algo complexo assim como o próprio conceito o é. Sua complexidade é proveniente do fato de o sentimento de presença tratar-se de um estado psicológico e subjetivo e poder variar de pessoa para pessoa, assim como variar para a mesma pessoa em momentos diferentes.

Segundo Ijsselsteijn (2000) a presença pode ser classificada basicamente em dois tipos diferentes: física e social. A física refere-se à sensação de estar fisicamente situado em algum lugar. Já a social refere-se ao sentimento de estar junto com alguém, comunicando-se. Os dois tipos de presença podem andar bem separados, isto é, um ambiente pode utilizar técnicas que capacitam o sentimento de presença física, mas não prover nenhum tipo de comunicação com demais usuários, enquanto que outro ambiente pode prover um modo bastante simples de comunicação com outras pessoas (presença social) sem a necessidade de se preocupar com o sentimento presença física, como sistemas telefônicos ou *chats*, por exemplo.

Entretanto não se pode dizer que os dois tipos de presença (física e social) não possuem relações. Muitas aplicações são caracterizadas por prover uma mistura desses dois tipos de presença. Além disso, mesmo existindo fatores que influenciam em apenas um dos tipos de presença, há fatores que podem afetar tanto o âmbito social quanto o âmbito físico. A determinação desses fatores é tarefa fundamental para os que

desejam construir ambientes que causem um nível de presença elevado [Bleumers et al., 2009]. Alguns dos fatores citados por Ijsselsteijn (2000) são:

- Quantidade e fidelidade de informações sensoriais;
- Casamento entre sensores e *displays*;
- Elementos contidos no ambiente; e
- Características do Usuário.

O senso de presença social é característica essencial em ambientes que desejam retratar procedimentos caracterizados pelo trabalho em conjunto de uma equipe de pessoas para alcançar objetivos em comum. Alguns procedimentos médicos, por exemplo, são desempenhados não apenas por um médico, mas por uma equipe médica que trabalha simultaneamente. Além disso, para desenvolver ambientes de treinamento médico em equipe é necessário fazer com que os usuários sintam que estão de fato trabalhando em conjunto numa determinada tarefa. A colaboração e o senso de “estar/trabalhar junto” são relevantes ainda em aplicações nas áreas de educação [Popovici et al., 2009], telecomunicações e entretenimento, dentre outras [Ijsselsteijn et al., 2000].

### **2.3.2. Aprendizagem através da colaboração**

O processo de ensino e aprendizado é tido como complexo sob a abordagem da colaboração uma vez que a troca de informações é a principal fonte de construção de conhecimento. Tendo em vista que a colaboração promove não só a troca de informações, mas também a capacidade dos membros se ajudarem em tarefas, os benefícios que sistemas colaborativos acarretam são relevantes [Blas & Poggi, 2007] [Machado et al., 2007] [Popovici et al., 2009].

A aprendizagem em conjunto deve ocorrer através da realização de atividades de forma organizada de maneira que a troca de informações socialmente estruturada entre alunos em grupo seja o fator predominante. Neste contexto, cada aluno é motivado a contribuir com a aprendizagem dos demais, porém responsável por sua

própria aprendizagem [Olsen & Kagan, 1992].

O que realmente promove a aprendizagem em conjunto e o envolvimento em um ambiente 3D é a sequência de atividades que requer participação e interação entre estudantes de diferentes localidades. A competição amigável, discussões sobre temas propostos e o conhecimento prévio de cada estudante, faz com que a colaboração traga benefícios no aprendizado de todos. Cada participante do ambiente contribui com os seus conhecimentos, acrescentando novas idéias e informações a outros estudantes [Youngblut, 1998]. Através de mundos virtuais estudantes de diversos países podem se encontrar, comunicar-se em tempo real, discutir e trocar perspectivas. A interação com pessoas de lugares diversos e diferentes culturas cria interesse e curiosidade por parte dos estudantes, motivando-os a serem membros de ambientes como estes [Blas & Poggi, 2007] [Lok et al., 2006].

Segundo Heinrichs (2008) alguns princípios são fundamentais e devem ser seguidos na realização de treinamentos em equipe. Um ponto essencial destes princípios afirma que o estudante, participante de um grupo de trabalho, deve fazer parte da tarefa de maneira ativa e não apenas discutir ou assistir outras pessoas realizando-a, como ocorre na apresentação de vídeos. No entanto, essa participação ativa necessita de certa orientação, que pode ser proporcionada por meio de *feedback* cedido por instrutores experientes no assunto.

### **2.3.3. Colaboração Háptica**

O uso de dispositivos hápticos não se limita a aplicações ou simulações onde há apenas um usuário. AVCs podem conter esses dispositivos de maneira que se torne possível a realização de colaboração háptica, isto é, duas ou mais pessoas realizarem tarefas de natureza tátil em conjunto. Além de promover o trabalho em conjunto, a colaboração háptica pode ser utilizada ainda em simulações de cunho educacional. Neste contexto, realizar tarefas em conjunto significa construir aprendizado de forma coletiva e colaborativa. Aplicações de treinamento médico ou odontológico, laboratórios

remotos para aprendizado de física, dentre outras, são exemplos de aplicações que podem usar a colaboração háptica com fins educacionais [Pereira et al., 2008] [Gunn et al, 2005]. Contudo, no desenvolvimento de Sistemas Hápticos Colaborativos são encontradas limitações de tecnologias e dispositivos que ainda dificultam a utilização desses sistemas num contexto mais delicado como cirurgias médicas à distância, por exemplo. Alguns autores propõem soluções para tais limitações, porém não são soluções triviais e nem sempre possuem a eficácia necessária.

Os principais problemas enfrentados pelos Sistemas Hápticos Colaborativos são relativos à velocidade, congestionamento e variação de atraso da rede e instabilidade dos dispositivos hápticos especialmente quando são submetidos a forças elevadas durante certo período de tempo. Além disso, estes dispositivos necessitam de altas taxas de amostragem devido à sensibilidade do tato humano, o que agrava ainda mais o problema de congestionamento da rede quando são inseridos num contexto colaborativo. Entretanto, as limitações não impedem que simulações médicas com colaboração háptica sejam construídas a fim de realização de treinamento médico. Nesse contexto, não se tem vidas de pacientes em questão como em cirurgias remotas. O que pode acontecer é que o aprendizado dos estudantes fique comprometido, momentaneamente, devido a um problema tecnológico. Porém, a simulação poderá ser realizada em outra oportunidade que seja mais conveniente (quando o problema tecnológico for resolvido) de forma que os estudantes participem da simulação de forma integral.

#### **2.3.4. Classificação de Ambientes Virtuais Colaborativos**

Para que haja de fato a colaboração é necessário um alto nível de sincronização entre os participantes de forma que cada um perceba as interações realizadas por todos os outros. Assim, na maioria dos ambientes, essas informações são trocadas por meio das mensagens de atualização. Essas mensagens carregam informações sobre o que foi alterado na cena e informam a todos os outros participantes para que eles

atualizem seus ambientes. As mensagens devem ser trocadas de acordo com um protocolo específico, existente ou implementado pelo desenvolvedor do ambiente.

Existem diferentes maneiras de se fazer a comunicação entre os participantes de um AV. Arquiteturas distribuídas são utilizadas em muitos dos Ambientes Virtuais Colaborativos existentes na atualidade. As abordadas neste trabalho foram: *Cliente/Servidor*, *Peer-to-peer Unicast* e *Peer-to-peer Multicast* [Tanenbaum, 2003]. A abordagem a ser escolhida está relacionada à quantidade de usuários que irão participar da colaboração, e como será essa participação, isto é, se os usuários vão possuir um caráter ativo, interagindo e modificando características do ambiente ou passivo, apenas observando interações de outros usuários no ambiente. Além disso, também é importante observar como será gerenciada a manipulação de objetos em um ambiente virtual colaborativo.

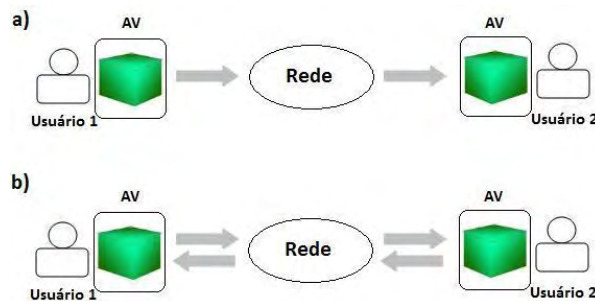
Na literatura, podemos encontrar a colaboração em ambientes virtuais, sendo abordada de várias formas diferentes. Cada aplicação específica utiliza uma das abordagens conhecidas, ou implementa uma nova abordagem de acordo com a sua necessidade. Dessa forma, é possível classificar os ambientes virtuais colaborativos levando em consideração alguns aspectos relevantes tais como o número de usuários que estarão presentes no ambiente e a forma como os participantes manipularão os objetos.

### **Número de Usuários**

Um ambiente virtual onde duas pessoas estão presentes e trocando informações, já pode ser considerado um ambiente virtual colaborativo. Entretanto, há ambientes onde o número de usuários ultrapassa a casa das dezenas, centenas e em alguns casos até milhares. Além disso, o fluxo de informações entre os participantes de um ambiente virtual colaborativo pode ser diferente para cada caso especial de ambiente. Dessa maneira, podemos classificar os ambientes virtuais colaborativos de três formas quanto a **número de usuários** e **fluxo das informações**:

### a) Um para um

Neste caso, dois usuários estão presentes no ambiente trocando informações através de alguma atividade. As informações podem ser trocadas unidirecionalmente (Figura 3a) ou bidirecionalmente (Figura 3b), isto é, um usuário pode apenas receber informações enquanto o outro envia ou ambos trocarem informações entre si. O primeiro caso (unidirecional) pode ser utilizado em ambientes onde um participante deseja apenas observar as ações de outro, como, por exemplo, um tutor demonstrando a realização de certo procedimento enquanto o aprendiz recebe informações. Utiliza-se o segundo caso (bidirecional) quando se deseja que ambos os participantes possam interagir com o ambiente de forma que essas interações terão interferência no ambiente do outro.



**Figura 3: Fluxo de dados na colaboração 1 para 1. Em a) um usuário participa ativamente enquanto outro apenas recebe informações sobre as interações do primeiro. Em b) os dois participantes trocam informações entre si.**

### b) Um para Vários

Neste tipo de colaboração, vários usuários estão presentes no ambiente. As informações partem de apenas um usuário em direção aos demais. A Figura 4 ilustra como se dá o fluxo de dados nesse tipo de colaboração. Este tipo de abordagem é geralmente utilizado em ambientes onde se deseja que vários participantes apenas recebam informações sobre ações realizadas por um determinado participante.

Inserem-se nesse contexto ambientes onde um tutor guia vários outros usuários na realização de um determinado procedimento, de maneira que o tutor executa as ações e estas são verificadas pelos demais usuários.

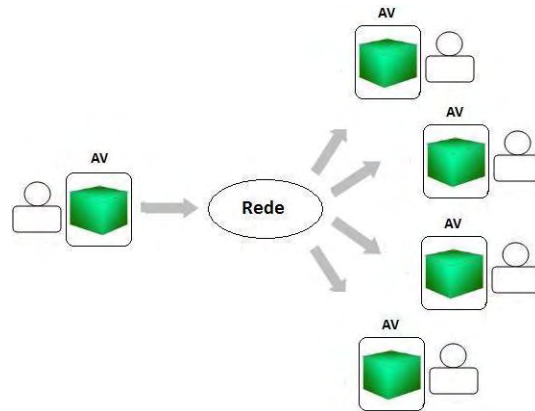
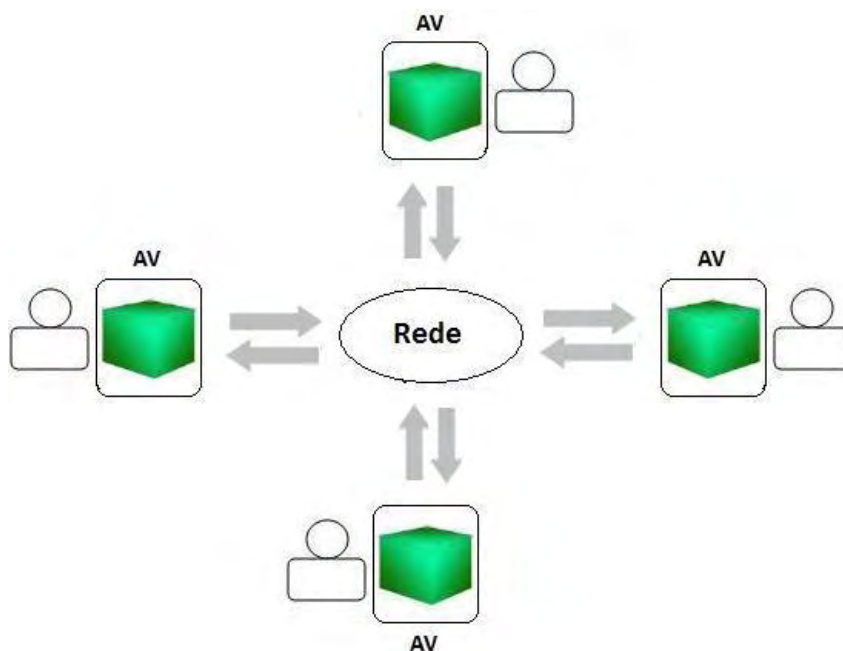


Figura 4: Representação do fluxo de dados na colaboração 1 para vários.

### c) Vários para Vários

Assim como a abordagem Um para Vários, neste caso vários usuários estão presentes no ambiente. Porém, todos os usuários enviam informações sobre suas interações no ambiente virtual e recebem informações a respeito de interações dos demais usuários. A Figura 5 exibe como é o fluxo de dados nesse tipo de colaboração. Esta situação aplica-se em ambientes onde os usuários desejam realizar uma tarefa em conjunto para atingir um objetivo em comum.



**Figura 5: Representação do fluxo de dados na colaboração Vários para Vários.**

### **Manipulação de Objetos no Ambiente**

Outro aspecto a ser destacado em um ambiente virtual colaborativo é como serão gerenciadas as alterações de objetos presentes no ambiente. Segundo Margery et al. (1999) existem três níveis de cooperação entre participantes de um ambiente virtual. O primeiro é caracterizado pela co-existência de usuários em um AVC e possibilidade de percepção e comunicação entre si. O segundo nível é marcado pela modificação de componentes da cena (como objetos, por exemplo) por cada usuário individualmente. No terceiro nível, os objetos podem ser modificados simultaneamente por mais de um usuário do ambiente. Nesse último caso torna-se necessário um controle sobre interações de usuários diferentes sobre um mesmo objeto [Bowman et al., 2008]. Para que tal controle seja realizado, duas técnicas são utilizadas em diversos ambientes virtuais colaborativos:

### **a) Técnica de Bloqueio**

A Técnica de Bloqueio consiste em bloquear um objeto enquanto um usuário está interagindo sobre ele. A idéia principal é fazer com que o usuário possa selecionar o objeto que deseja manipular [Bastos et al., 2006], manipulá-lo e depois liberá-lo para que outros usuários possam interagir [Bowman & Hodges, 1999]. Depois de selecionado, o objeto fica restrito aos movimentos realizados pelo usuário que o selecionou [Hindmarsh et al., 2000]. Isto implica que cada objeto só poderá ser modificado por apenas um usuário a cada momento [Bowman et al., 2008]. Os demais que desejarem interagir com este mesmo objeto, deverão esperar até que o primeiro termine sua interação, que todos recebam as modificações e que o objeto fique liberado para outras manipulações.

### **b) Técnica da União de Interações**

A outra técnica utilizada para gerenciamento de manipulação de objetos trata-se da união de interações. Esta se caracteriza por ter uma implementação um pouco mais complexa que a técnica anterior. Na união de interações, vários usuários podem interagir sobre um mesmo objeto simultaneamente. Para tornar isto possível, é necessário que haja um controle para determinar como o objeto irá reagir às interações provenientes de cada usuário [Bowman et al., 2008]. Caso mais de um usuário esteja interagindo sobre o mesmo objeto, um pré-processamento deve ser feito indicando a interação resultante e a partir desta determinar como o objeto irá reagir [Ishibashi et al., 2004] [You et al., 2007].

## **2.4. Conclusão**

Neste Capítulo foram apresentados os principais conceitos relacionados à RV e Ambientes de RV colaborativos, além do impacto causado pela utilização da RV em

aplicações voltadas para a área médica. Em primeira mão foi visto um breve histórico e algumas definições do termo Realidade Virtual. Em seguida, foi destacada a utilização de sistemas de RV em diversos tipos de aplicações para medicina e quais os benefícios que podem ser acarretados por essa utilização. Por fim, foram apresentados conceitos sobre colaboração, os efeitos da inserção do aspecto colaborativo em ambientes virtuais e uma classificação para ambientes virtuais colaborativos baseada nas principais características de ambientes deste tipo.

# **3 Estado da Arte de Sistemas de RV Colaborativos para a Área Médica**

O aumento da utilização de redes de computadores como a Internet tem impulsionado o desenvolvimento de aplicações de RV colaborativas. Na Medicina, a colaboração tem sido utilizada para auxiliar a criação de novas alternativas para o treinamento médico. Diversos ambientes virtuais provêm colaboração entre os usuários para que eles possam colaborar em tarefas trocando informações.

Este Capítulo tem como objetivo a apresentação de uma revisão na literatura a respeito dos ambientes virtuais colaborativos voltados para a área médica, além da análise de como cada um aborda o aspecto colaborativo particularmente. Além disso, estão dispostos neste capítulo aplicações e *frameworks* baseados em RV, que visam a construção de simulações médicas.

### **3.1. Ambientes Virtuais Colaborativos para Treinamento Médico**

No início dos anos 90, as primeiras aplicações de RV para a área médica surgiram inicialmente com a idéia de visualização de dados médicos complexos, especialmente durante a execução ou planejamento de cirurgias [Chinnock, 1994]. Posteriormente, a RV passou a ser usada também para aplicações de simulação médica, como uma alternativa aos métodos de treinamento existentes. Métodos estes que se caracterizavam por encontros dos estudantes com pacientes ou participação dos estudantes em procedimentos médicos sob supervisão de um instrutor [Heinrichs et al., 2008]. Com o avanço das redes de computadores, o uso da RV em simulações foi expandido para o treinamento à distância. Essa expansão possibilitou o surgimento de ambientes virtuais colaborativos que permitem o treinamento médico em equipe, de maneira que os participantes possam estar situados geograficamente distantes.

Na literatura são encontrados vários trabalhos que abordam a colaboração em ambientes virtuais com enfoques diferentes. Durante a pesquisa realizada foram revisados trabalhos que continham um tema relacionado ao deste trabalho a fim de se apurar o que está sendo feito na área e quais as tendências futuras. A pesquisa se deu em artigos presentes nos anais de congressos e revistas que relacionam informática e

medicina e/ou que tratam da interação háptica em ambientes virtuais colaborativos. Deu-se preferência aos trabalhos desenvolvidos ou publicados nesta década.

Em Heinrichs (2008) é descrito o Virtual ED I (*emergency departament*), um ambiente virtual tridimensional (3D) para aprendizado de medicina. O ambiente é formado por médicos e enfermeiros representados por avatares, controlados pelos estudantes que formam uma equipe a fim de tratar um paciente virtual. Algumas decisões têm de ser tomadas pela equipe de forma que caso estas não sejam apropriadas para a ocasião, o estado clínico do paciente pode vir a piorar. As interações são realizadas através da seleção de ações em um *menu*. No momento em que o usuário seleciona uma ação, seu avatar representante demonstra que está realizando aquela ação através de gestos. Adicionalmente, é utilizado um *software* de comunicação para possibilitar que os membros da equipe conversem e compartilhem perspectivas. A Figura 6 ilustra o sistema em funcionamento.

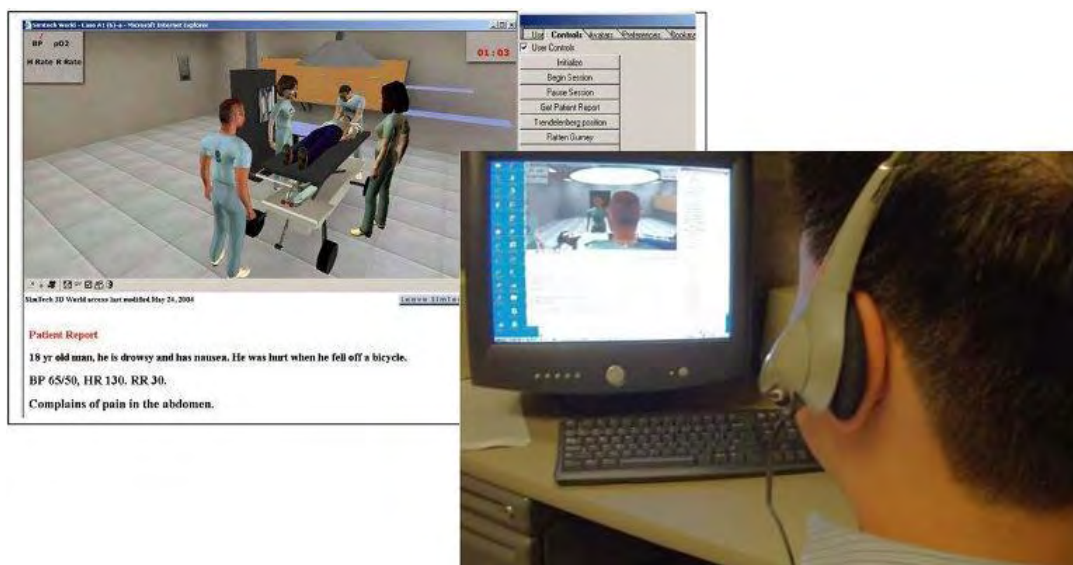


Figura 6: À esquerda, ilustração da interface gráfica do Virtual ED. À direita, usuário utilizando o sistema [Heinrichs et al., 2008].

Os simuladores baseados em manequins humanos de alta fidelidade HPS (*Human Patient Simulator*) são utilizados para treinamento médico para situações

emergenciais onde uma equipe deve agir [Wright et al, 2005]. Entretanto este método demanda um custo financeiro elevado e requer que os estudantes estejam presentes no mesmo lugar para a realização do treinamento. O Virtual ED propõe a substituição do HPS por simulações *online* baseadas em computador, que permitem que usuários participem do treinamento mesmo estando em localidades diferentes. A partir dos resultados de seus estudos, Heinrichs et al. (2008) concluíram que é possível desenvolver treinamentos em equipe através de mundos virtuais, com custos reduzidos quando comparados aos custos de outros métodos possibilitando a usuários geograficamente distantes participarem de um treinamento em conjunto. Apesar das diferenças, os autores acreditam que a simulação *online* através de mundos virtuais possui a mesma eficácia do *human patient simulator*.

Alverson (2004) por sua vez, desenvolveu um ambiente virtual distribuído e interativo para aprendizado e treinamento colaborativo através da Internet2. Trata-se de um ambiente 3D totalmente imersivo desenvolvido dentro de uma plataforma de código aberto, chamada Flatland, na qual a simulação virtual pode ser programada e renderizada para visualização e interação. O ambiente desenvolvido consiste em um cenário clínico onde os participantes podem interagir dinamicamente, além de utilizarem um *Head Mounted Display* (HMD) e um sistema de rastreamento para proporcionar a imersão. Os participantes devem manipular um paciente virtual que responde às interações feitas e é programado para mudar seu estado de acordo com o procedimento tomado pelo aprendiz e com o passar do tempo. A Figura 7 ilustra a interface de usuário do sistema WebSET.

O que esses ambientes proporcionam é a capacidade de usuários colaborarem em cenários clínicos através da tomada de decisão em situações específicas. O sistema geralmente verifica qual a decisão tomada em determinada situação e oferece um *feedback* para que o estudante tenha conhecimento se sua decisão foi acertada ou não. Outros ambientes colaborativos de simulação médica possuem enfoques diferentes. Existem ambientes nos quais o objetivo principal é treinar ou familiarizar o participante, sob a perspectiva da movimentação e/ou força aplicada em determinado

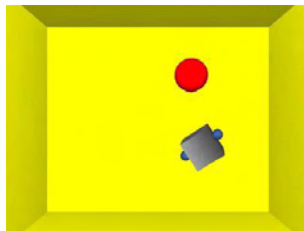
procedimento médico. Nestes casos, há a necessidade da utilização de dispositivos que proporcionam o retorno tátil ou retorno de força, os dispositivos hápticos. Entretanto, prover colaboração através da interação tátil implica em enfrentar dificuldades impostas por tecnologias atuais e limitações dos dispositivos existentes. A velocidade atual da Internet (apesar do crescimento acelerado nos últimos anos) e as altas taxas de dados geradas pelos dispositivos hápticos são os principais desafios a quem objetiva criar ambientes de colaboração háptica. O que se encontra atualmente é uma diversidade de trabalhos que tentam contornar as limitações existentes para desenvolver algo plausível em termos de colaboração háptica.



Figura 7: Interface gráfica apresentada ao usuário do sistema WebSET [Alverson et al., 2004].

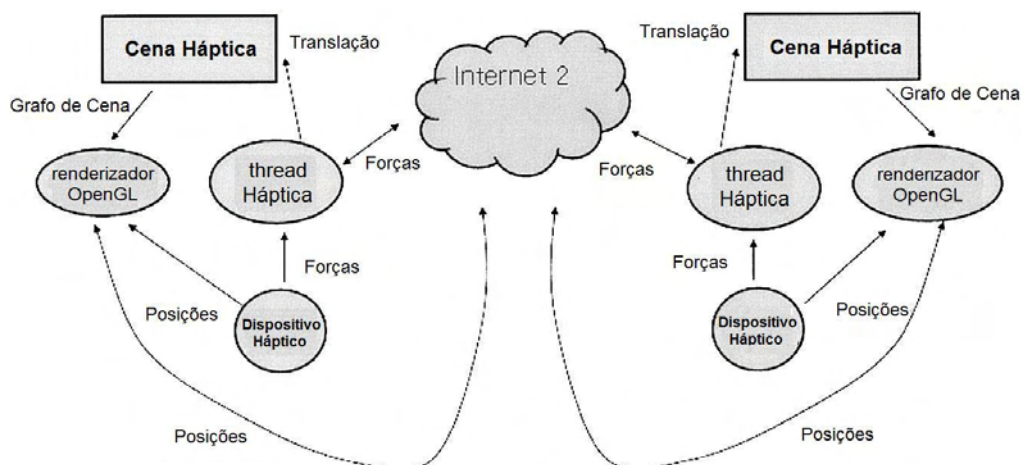
No trabalho desenvolvido por You et al., (2007) foi proposto um esquema eficiente para a transmissão de dados de interação háptica a fim de atenuar os efeitos negativos acarretados por perdas e atrasos de rede. A idéia principal é baseada na predição e *buffering*. O ambiente desenvolvido tem como objetivo o trabalho colaborativo de usuários para mover um cubo até atingir certa posição, através de interação háptica. Esta colaboração é baseada na arquitetura cliente/servidor de forma que o cliente envia seus dados hápticos para o servidor que por sua vez efetua os

cálculos necessários para a renderização háptica. Os dados enviados pelos clientes são referentes às posições pontuais de seus dispositivos. Ao receber os dados do cliente, o servidor detecta possíveis contatos entre o dispositivo háptico do cliente e o cubo, aplicando o modelo mola-amortecedor (*spring-damper*) para obter posições e ângulos de rotação do cubo. A Figura 8 demonstra o ambiente utilizado por You et al., (2007).



**Figura 8: Ambiente Virtual composto por um cubo (objeto a ser manipulado pelos usuários) e uma esfera (local para onde o cubo deve ser levado pelos usuários), utilizado por [You et al., 2007].**

Semelhantemente, Kim (2004) realizou testes de interação háptica colaborativa com dois participantes, um situado no Touch Lab at *Massachusetts Institute of Technology*, Estados Unidos e outro no laboratório *Virtual Environments and Computer Graphics* (VECG) na *University College London* (UCL). A comunicação foi feita através de uma rede Internet2 com velocidade de 2.4Gbps. Utilizou-se a arquitetura *peer-to-peer* onde cada usuário possuía uma réplica do ambiente em sua máquina local, de forma que cada mudança realizada por um usuário era enviada diretamente para o outro para que seus ambientes ficassem em conformidade (Figura 9). Essa arquitetura foi adotada devido a não necessidade de um servidor intermediando a comunicação entre os clientes. A presença de um servidor pode causar atrasos extras de transmissão que comprometem a colaboração. No entanto, mesmo sem um servidor para intermediar a comunicação, a rede está sujeita a atrasos e perdas que provocam instabilidade na interação háptica. Este problema foi tratado com a inserção de fatores de suavização em vários estágios do sistema.

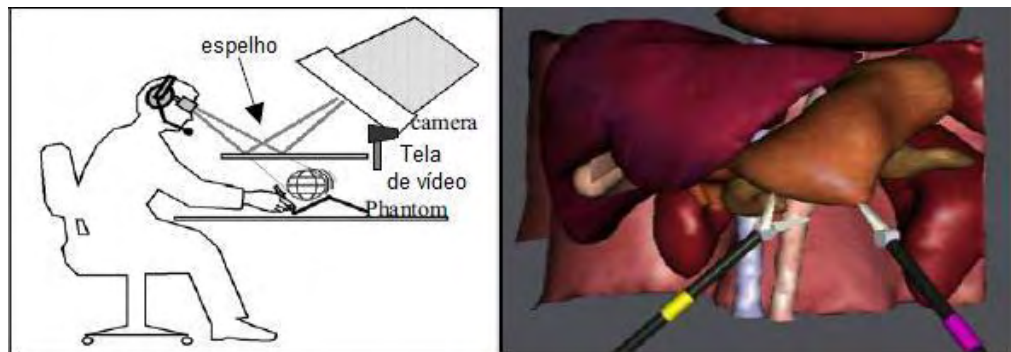


**Figura 9: Esboço do esquema utilizado por Kim et al., (2004) para realizar colaboração háptica entre dois participantes situados geograficamente distantes.**

Minimizando-se os efeitos negativos causados pelas limitações de tecnologias é possível desenvolver ambientes de colaboração háptica voltados para a área médica que consigam atingir seus objetivos. Em geral, os ambientes colaborativos de treinamento médico são baseados na simulação de algum procedimento para ser realizado em conjunto por estudantes, ou por um instrutor para demonstrar aos estudantes a forma certa de proceder.

No trabalho desenvolvido por Gunn (2005), por exemplo, é descrito um modelo e processo de uma aula de cirurgia médica ministrada remotamente, com a utilização de dispositivo háptico. Um instrutor na Califórnia, Estados Unidos, guia uma turma situada em Canberra, Austrália. Os participantes, tanto o instrutor quanto os pertencentes à classe, estão presentes em um ambiente virtual imersivo e que possui um dispositivo háptico. O instrutor e os participantes trabalham juntos em um ambiente virtual em uma simulação do procedimento médico de remoção de vesícula. Os modelos 3D de órgãos humanos podem ser tocados e deformados pelo instrutor e pelos estudantes. As interações dos participantes são combinadas para formar uma interação resultante no órgão. Esse mecanismo foi utilizado para que os objetos pudessem ser editados simultaneamente, sem a necessidade de travamento para edição. A Figura 10 ilustra o

procedimento sendo executado.



**Figura 10: Representação do funcionamento de uma colaboração em um procedimento médico. Na imagem à esquerda o tutor realiza o procedimento enquanto outros participantes situados remotamente são guiados por ele. Na imagem à direita é mostrado o ambiente virtual em que os participantes estão inseridos. Adaptado de [Gunn et al., 2005].**

Em Dev (2002), dois ambientes foram desenvolvidos com objetivos distintos, um para o ensino de anatomia e outro para a prática de manobras básicas de cirurgia, tais como sondagem, corte e sutura. A Figura 11 exibe imagens dos dois ambientes. Com um público-alvo definido para alunos do primeiro ano do curso de medicina ou outros cursos relacionados à saúde, o primeiro ambiente consiste em um modelo tridimensional da mão que pode ser visto de vários ângulos, em visão estereoscópica com diversas camadas além da presença do retorno de força. O segundo é para uso de iniciantes em cirurgias para se familiarizarem com as manobras básicas requeridas. É permitido ainda que os estudantes acessem os ambientes individualmente ou em grupos, neste caso para trabalharem colaborativamente.



**Figura 11: Ambientes desenvolvidos para ensino de anatomia e treinamento de manobras básicas de cirurgia. A imagem mais a esquerda é referente à aplicação para ensino de anatomia. As outras imagens referem-se à aplicação de treinamento cirúrgico [Dev et al., 2002].**

Para permitir acesso a múltiplos participantes, foi utilizada a arquitetura cliente/servidor, ilustrada na Figura 12, onde cada estudante executa em seu computador local, uma aplicação cliente que se conecta através da Internet a uma aplicação servidora executada em um computador remoto. A colaboração háptica ocorre através do envio dos pontos relativos às posições dos dispositivos dos clientes, para que o servidor calcule a força resultante e repasse a cada usuário. O fato da utilização da Internet para a troca de informação háptica é de certa forma problemática devido à possibilidade de atraso nas mensagens que pode comprometer a qualidade da interação. Para minimizar este problema, a aplicação cliente resgata do servidor uma porção do modelo háptico adjacente à posição do dispositivo. Dessa maneira, quando o dispositivo é movimentado, a força pode ser calculada por um processo presente no cliente.

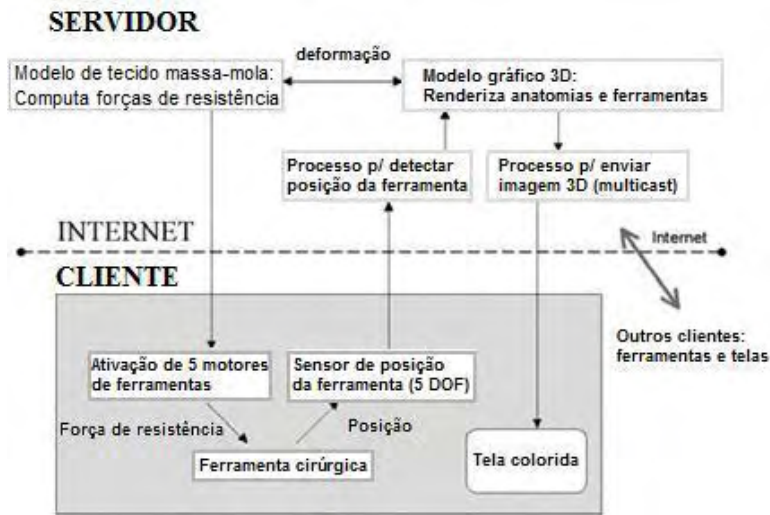


Figura 12: Arquitetura cliente/servidor adicionada de alguns módulos nos ambientes desenvolvidos por [Dev et al., 2002].

### 3.2. Frameworks para Desenvolvimento de Aplicações de RV na Área Médica

O desenvolvimento de simuladores e Ambientes Virtuais voltados para o treinamento médico vem crescendo ao longo dos anos. No entanto, a construção de ambientes deste tipo requer a utilização de uma série de tecnologias para que as funcionalidades desejadas sejam implementadas. O desenvolvimento destas funcionalidades demanda um custo financeiro e temporal elevado. Um *framework*, por sua vez, engloba algoritmos e serviços que podem ser reutilizados por quem deseja desenvolver aplicações, de maneira que o tempo de construção seja reduzido significativamente [Allard et al., 2007] [Machado et al., 2004]. A tendência da reutilização de serviços para desenvolver aplicações na área médica fez com que alguns grupos de pesquisa se empenhassem na tarefa de desenvolver *frameworks* que pudessem embutir funcionalidades comuns a essas aplicações para diminuir o custo de desenvolvimento e aumentar a qualidade dos simuladores e ambientes. O grande problema enfrentado pelos grupos de pesquisa no desenvolvimento de um *framework* voltado para a medicina está relacionado à diversidade de características que

simulações médicas necessitam. A integração de diferentes tipos de visualização, modelos complexos como órgãos do corpo humano, presença de retorno tátil para o usuário, dentre outras coisas, tornam mais desafiadora a tarefa da construção desses *frameworks*.

A utilização prática diária dessas ferramentas ainda esbarra em alguns problemas. Profissionais da área médica resistem em utilizar simuladores e essa não aceitação faz com que apenas uma pequena parcela do que é desenvolvido seja realmente utilizado clinicamente. Mesmo assim, já podem ser encontrados *frameworks* de boa qualidade que possuem uma diversidade de funcionalidades para o desenvolvimento de aplicações para área médica. Eles estão em constante evolução, acompanhando o surgimento de novas tecnologias, para que cada vez mais suas funcionalidades sejam aprimoradas.

Neste trabalho foi feito um levantamento de *frameworks* que têm como objetivo o desenvolvimento de simulações médicas. Foram selecionados para análise *frameworks* que provêm serviços diferenciados como visão estereoscópica e/ou interação com dispositivos especiais dentre outros. Alguns dos *frameworks* já possuem suporte ao desenvolvimento de simulações colaborativas outros não mencionam funcionalidades referentes à colaboração. Deu-se preferência aos trabalhos que encontram-se em evolução contínua.

O laboratório SUMMIT juntamente com William LeRoy Heinrichs, na Universidade de Stanford, iniciaram pesquisas em basicamente duas vertentes: “construção de um ambiente de aprendizado, colaborativo, de alta performance, conectado via rede” e “fisiologia humana interativa para educação e treinamento médico *online*”. Estes estudos resultaram na criação de um projeto denominado HAVnet (*Haptic, Audio, Visual, Network*) que consiste na pesquisa e desenvolvimento de uma infraestrutura de rede avançada para educação no campo da saúde. Em Dev e Heinrichs (2008) é demonstrada a arquitetura de um *framework* (Figura 13) para ambientes colaborativos, interligados via rede, com propósito educacional além de uma arquitetura mais específica para a colaboração. A colaboração no *framework* está

relacionada à visualização de imagens estéreo localizadas remotamente, para uma possível análise anatômica por mais de um usuário simultaneamente. Na arquitetura do *framework* há a presença de um *middleware* entre a camada de aplicação e a camada de infraestrutura. Nesse *middleware* estão presentes alguns protocolos, além de um módulo chamado *Weather Station* que tem como objetivo monitorar o desempenho da rede para que a aplicação se adapte ao contexto presente. Esta última característica presente no *middleware* é bastante relevante, visto que existe uma grande diversidade de velocidade nas redes de cada usuário final. Com isso, a aplicação se torna flexível para ser utilizada tanto por quem utiliza redes de alto desempenho quanto por aqueles que não dispõem de redes de boa qualidade.

Foram desenvolvidos ainda, testes experimentais para validar as funcionalidades implementadas. Os testes de colaboração foram feitos em três âmbitos: local, nacional e global. Em cada um dos casos, estudantes se encontravam em diferentes localizações, interligados através da Internet<sup>2</sup>. A realização dos testes possibilitou a análise técnica e pedagógica do que é necessário para uma atividade colaborativa de aprendizagem realizada por médicos e estudantes de diferentes localizações [Dev & Heinrichs, 2008].

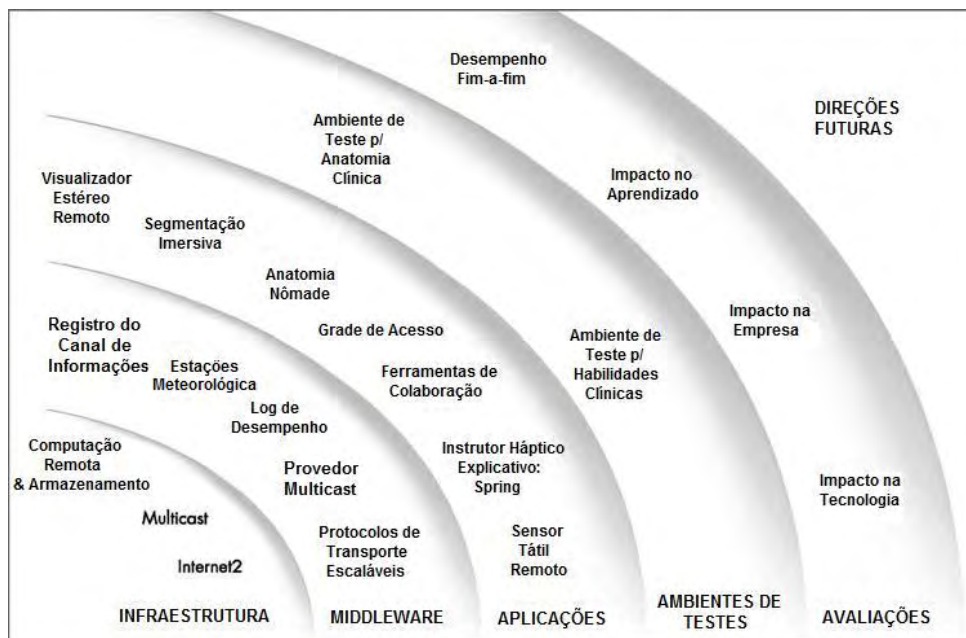


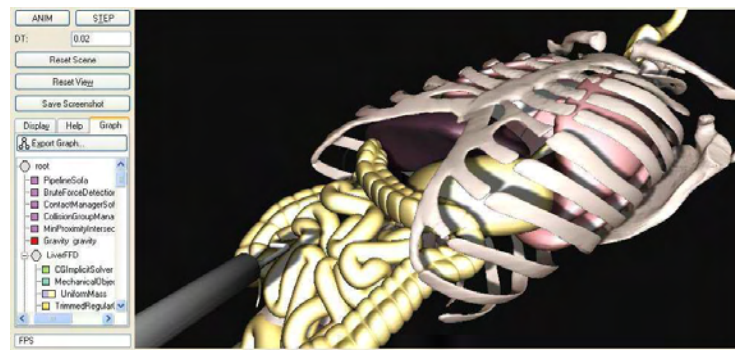
Figura 13: Arquitetura do *framework* idealizado por Dev e LeRoy (2008), demonstrando todas as suas camadas.

O SOFA é um *framework open source* que tem como foco principal o desenvolvimento de simulações voltadas para a área médica. Sua estrutura provê ao usuário funcionalidades como:

- Criação ou evolução de simulações complexas através da combinação de algoritmos com algoritmos já existentes no SOFA;
- Modificar a maioria dos parâmetros da simulação (comportamento deformável, representação de superfície, algoritmo de colisão, etc.) por meio da edição de um arquivo XML;
- Construção de modelos complexos a partir de modelos mais simples utilizando a descrição da cena gráfica;
- Simulação eficiente de objetos interativos;
- Reuso e fácil comparação de uma variedade de métodos.

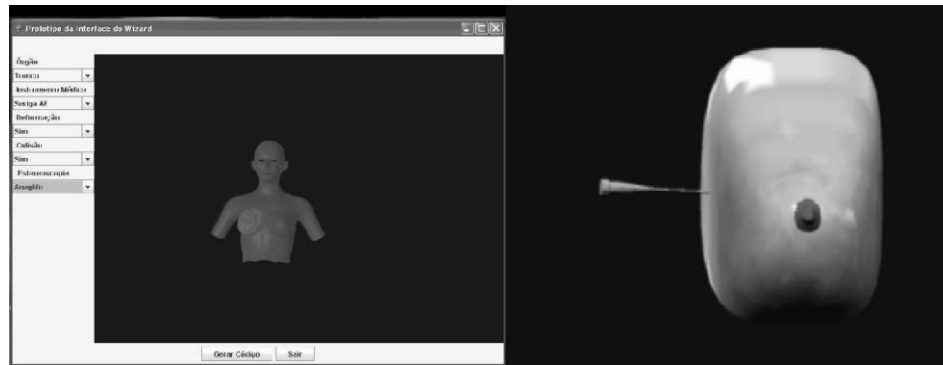
O SOFA atualmente integra uma série de algoritmos como algoritmos de deformação, detecção de colisão, dentre outros. A possibilidade de integração de

algoritmos extras em uma simulação com custo de tempo relativamente baixo, também faz parte das inovações promovidas pelo *framework*. Além disso, é possível ter-se objetos com comportamentos diferentes interagindo juntos na mesma cena [Allard et al., 2007]. A Figura 14 ilustra um ambiente desenvolvido com o SOFA.



**Figura 14: Utilização do SOFA no desenvolvimento de Ambiente Virtual para estudo de medicina [Allard et al., 2007].**

Outro *framework* que visa o desenvolvimento de aplicações médicas de RV é o ViMeT. Trata-se de um framework orientado a objetos e se encontra em fase de desenvolvimento. Atualmente, o ViMeT provê a construção de aplicações voltadas ao treinamento de exames de biópsia [Oliveira et al., 2006]. Sua implementação utiliza as linguagens de programação Java e C++, além da API (*Application Programming Interface*) Java3D. Ele oferece características e funcionalidades essenciais para a criação de aplicações em procedimentos e simulações médicas (Figura 15). As principais funcionalidades deste *framework* são: estereoscopia, modelagem de objetos tridimensionais para representação dos instrumentos médicos e órgãos humanos, detecção de colisão entre o instrumento médico virtual e o órgão humano virtual, deformação do objeto que representa o órgão humano no momento da colisão e suporte a dispositivos de interação não convencionais tais como luva de dados e dispositivos hápticos [Corrêa et al., 2009] [Oliveira, 2007].



**Figura 15: Aplicação para simulação do procedimento de coleta de material mamário desenvolvida com o ViMeT [Oliveira, 2007].**

Já o SSVE (*Shared Simple Virtual Environment*) diferencia-se por ser um dos mais completos *frameworks* sob o ponto de vista da colaboração. Trata-se de um sistema orientado a objeto projetado para permitir a colaboração de pequenos grupos de usuários em ambientes com características de extrema dinamicidade. A Figura 16 exhibe um ambiente colaborativo, com a presença de múltiplos usuários, construído com o *framework*. O SSVE possibilita a formação de grupos de colaboração de seis a oito participantes em um modelo de alta interatividade para a realização de uma tarefa. Neste *framework* a colaboração pode ser feita de diferentes formas. De acordo com observações feitas em situações reais [Linebarger et al., 2003] identificaram alguns modos de colaboração em grupo. Foram definidos quatro modos de colaboração, *Peer-to-Peer*, *Leader-Follower*, *Complementary*, *Competitive*. Esses modos foram classificados em dois tipos: Comportamento (*Behavior*) e Formação (*Formation*). Os modos *Peer-to-peer* e *Leader-Follower* pertencem ao tipo Comportamento, no primeiro, modo todos os membros do grupo contribuem igualmente para a colaboração. No segundo, um membro possui a função de líder enquanto os outros participam como seguidores. Os modos *Complementary* e *Competitive* pertencem ao tipo Formação, no primeiro, a tarefa é dividida em porções menores e cada subtarefa é repassada para um grupo diferente. Cada grupo realiza sua parcela na tarefa de maneira que a união dos trabalhos complete a tarefa como um todo.

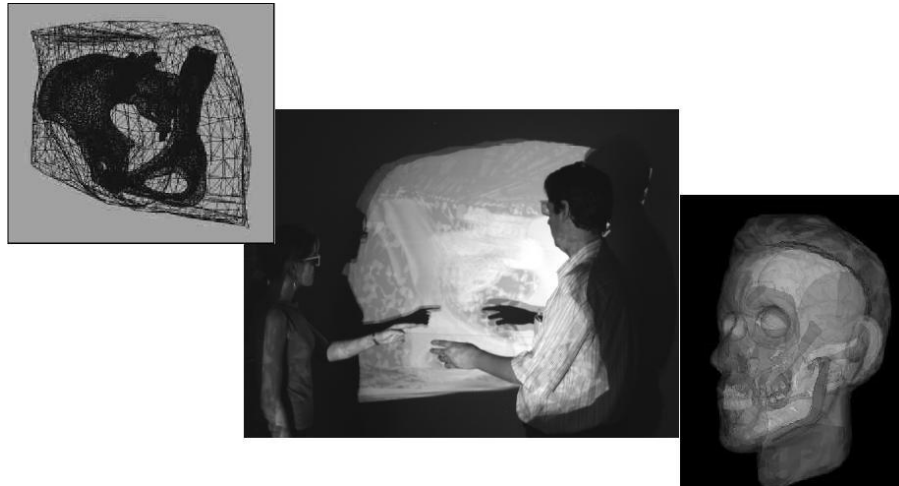


**Figura 16: Ambiente Virtual Colaborativo construído com o SSVE. A imagem exibe avatares representando os usuários que colaboram, identificados por cores diferentes.**

O CyberMed por sua vez é um *framework* que provê serviços variados para a construção de simulações médicas baseadas em RV [Machado et al., 2009]. Sua estrutura é composta por diversos módulos que provêm como principais funcionalidades, visualização tridimensional, uso de modelos realistas, interação espacial com sensação de toque, deformação interativa das estruturas tocadas, compartilhamento visual e supervisão/avaliação das ações do usuário. A Figura 17 apresenta algumas imagens de aplicações desenvolvidas com o CyberMed. A idéia inicial do CyberMed foi facilitar o desenvolvimento de simuladores para a área médica, porém seu uso fez perceber a possibilidade de suporte à construção de aplicações em várias outras áreas.

O CyberMed se destaca por ser totalmente baseado no conceito de *software* livre e aberto e utilizar em seu desenvolvimento apenas linguagens abertas, não dependendo de pacotes ou sistemas proprietários. O suporte ao monitoramento de ações do usuário através de métodos de avaliação *online* é outro destaque deste *framework*. Trata-se de uma funcionalidade que permite que o usuário seja avaliado em tempo-real, isto é, durante a execução de uma tarefa no ambiente virtual. Isso possibilita, dentre outras coisas, o provimento de *feedback* para o usuário de acordo com suas interações, de forma que o sistema informe se o usuário está agindo dentro ou fora do esperado. Esta funcionalidade dificilmente é encontrada em sistemas para

desenvolvimento de aplicações médicas sendo um diferencial do CyberMed quando comparado com demais *frameworks* de propósito similar [Santos & Machado, 2009].



**Figura 17: Algumas aplicações desenvolvidas com o CyberMed [Machado et al., 2004].**

Mais um *framework* para simulações médicas é o GiPSi (*General Interactive Physical Simulation Interface*). A idéia principal do GiPSi é facilitar o desenvolvimento compartilhado de modelos reusáveis, isto é, permitir que vários grupos participem do desenvolvimento do *framework* de maneira que uma interface simples seja utilizada para integrar os modelos heterogêneos. O GiPSi caracteriza-se essencialmente por ser *open source* e *open architecture*, ou seja, é disponibilizado de forma livre para que qualquer pessoa possa usar e contribuir para a evolução do *framework* [Goktekin et al., 2004].

O Spring é um *framework* projetado para o desenvolvimento de simulações em geral, com foco em atividades de tempo real. No entanto, durante o desenvolvimento o *framework* passou a ser utilizado principalmente para a construção de simulações cirúrgicas, colaborativas em tempo real. O Spring foi desenvolvido em C++ com OpenGL [Shreiner et al., 2005] para exibição gráfica e pode ser executado em diversas plataformas Unix ou Windows. O Spring dá suporte a diversos tipos de arquivo, tais como: VRML [Pesce, 1995], SMF [Garland & Heckbert, 1997], Wavefront OBJ, Mesh e

Cyberware [Cyberware, 2010]. O simulador permite a utilização de diferentes dispositivos de interação, além da colaboração multiusuário, multi-instrumento (dispositivos) através da internet. A colaboração pode ser feita em dois modos: *latency-moderated* ou *latency-dependent*, de acordo com a velocidade da rede que se está utilizando. A detecção de colisão é feita através de um algoritmo de esfera envolvente. Algumas funcionalidades extra com entrada e saída de voz, visão estéreo e *head-mounted display*, dentre outras também estão implementadas [Montgomery et al., 2002].

**Tabela 1: Descrição resumida de alguns *frameworks* para desenvolvimento de aplicações médicas.**

<b>Framework</b>	<b>Objetivo Principal</b>	<b>Colaboração</b>	<b>Principais Funcionalidades</b>
ViMeT	Aplicações voltadas para o treinamento médico. Desenvolvimento rápido de aplicações para a área médica.	Sem suporte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Detecção de colisão com precisão;</li> <li>• Estereoscopia;</li> <li>• Deformação.</li> </ul>
CyberMed	Desenvolvimento de aplicações para simulação de procedimentos médicos para apoiar o ensino e o treinamento de estudantes.	Sem suporte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• visualização tridimensional;</li> <li>• uso de modelos realistas;</li> <li>• interação espacial com sensação de toque;</li> <li>• deformação interativa das estruturas tocadas;</li> <li>• compartilhamento visual; e</li> <li>• supervisão/avaliação das ações do usuário</li> </ul>

**Tabela 1: Descrição resumida de alguns *frameworks* para desenvolvimento de aplicações médicas (continuação).**

<p>GiPSi</p>	<p>Facilitar a utilização de modelos reusáveis com um sistema <i>open source/open architecture</i>. Possibilitar que grupos separados possam desenvolver utilizando uma interface simples para integração de módulos.</p>	<p>GiPSiNet</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Detecção de Colisão/Reação a Colisões</li> <li>• Suporte a dispositivos hápticos</li> <li>• Suporte a multiprocessamento</li> <li>• Diferentes níveis de abstração possíveis para diferentes processos.</li> </ul>
<p>Spring</p>	<p>Desenvolvimento de simulações em tempo real.</p>	<p>Colaboração de dois modos é possível: <i>latency-dependent</i> ou <i>latency-moderated</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Suporte a vários tipos de arquivos;</li> <li>• Detecção de colisão esfera envolvente;</li> <li>• Entrada e saída de voz;</li> <li>• Visão estéreo e <i>head-mounted display</i>.</li> </ul>

**Tabela 1: Descrição resumida de alguns *frameworks* para desenvolvimento de aplicações médicas (continuação).**

<p>SOFA</p>	<p>Simulações médicas combinando novos algoritmos com algoritmos já incluídos no SOFA.</p>	<p>Sem suporte</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Modificar parâmetros como deformação, representação de superfície, colisão, etc. apenas editando um arquivo XML;</li> <li>• Construir modelos complexos a partir de outros mais simples;</li> <li>• Dinâmica de interação com objetos eficiente;</li> <li>• Reuso e fácil comparação entre diversos métodos de avaliação.</li> </ul>
<p>SSVE</p>	<p>Promover colaboração, centrada nos objetos, em ambientes virtuais extremamente dinâmicos.</p>	<p>Diversos modos de colaboração são permitidos. Grupos de até oito usuários podem ser formados para colaborarem com alta interatividade</p>	<p>Funcionalidades relativas a tipos de colaboração:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Peer-to-Peer;</li> <li>• Leader-Follower;</li> <li>• Complementary;</li> <li>• Competitive.</li> </ul> <p>Algumas funcionalidades relativas ao controle de concorrência.</p>

### **3.3. Conclusão**

Este Capítulo objetivou apresentar alguns ambientes virtuais colaborativos encontrados na literatura com suas diferentes abordagens para a colaboração, demonstrar como esses ambientes podem ser utilizados para treinamento de estudantes de medicina e avaliar alguns dos principais *frameworks* existentes para o desenvolvimento de aplicações médicas. De acordo com os Ambientes Virtuais Colaborativos apresentados é possível perceber uma tendência dos autores em tentar minimizar a troca de informações para se adequar às limitações impostas pela Internet. Essas limitações são evidenciadas quando se necessita de uma troca de informações com frequência relativamente alta, como é o caso dos sistemas hápticos colaborativos. Porém, é notável que com redes velozes torna-se possível manter a colaboração háptica sem comprometimento da interação [Kim et al., 2004] e dessa forma melhorar substancialmente a qualidade dos ambientes de treinamento médico. Alguns dos *frameworks* apresentados possuem suporte à colaboração, inclusive a colaboração háptica. Todavia, na maioria dos casos, apenas uma forma de colaboração é possível, o que de certa maneira limita desenvolvedores na construção de aplicações ou, no melhor caso, aumenta o tempo de desenvolvimento de ambientes.

# **4 Colaboração para o CyberMed**

No Capítulo 3 pôde-se constatar como geralmente é feita a utilização dos ambientes virtuais para dar suporte a estudantes da área de saúde a realizarem treinamentos e procedimentos médicos. Dentre estes ambientes destacaram-se os que oferecem a possibilidade de colaboração entre os usuários. A agregação de atividades colaborativas é fundamental para a realização de treinamentos e simulações de procedimentos médicos em equipe, principalmente aqueles que objetivam oferecer para o usuário o sentimento do trabalho em grupo, como ocorrem em ambientes cirúrgicos em geral. A construção destes AVs baseia-se, na maioria dos casos, na utilização de um conjunto de serviços já existente, como os *frameworks* descritos na Seção 3.2, para minimizar o tempo de desenvolvimento e garantir a qualidade.

De acordo com os trabalhos apresentados na Seção 3.2 também é possível observar que não há uma convergência no que diz respeito ao desenvolvimento de *frameworks* voltados para a construção de simulações médicas. O que há, de fato, é o desenvolvimento em paralelo de diversos destes conjuntos de bibliotecas que na maioria dos casos possuem funcionalidades semelhantes, mas com diferenças metodológicas. Alguns autores como Allard (2007) enfocam a facilidade de edição de ambientes e construção de modelos tridimensionais complexos. Já Montgomery (2002) destaca a facilidade na adição de dispositivos que proporcionam a imersão, como o *Head Mounted Display* (HMD), em ambientes construídos com o *framework* descrito no trabalho. Porém, poucos apresentam a possibilidade da construção de atividades colaborativas. Embora alguns *frameworks* listarem o suporte à colaboração [Linebarger et al., 2003] [Montgomery et al., 2002] [Goktekin et al., 2004], alguns aspectos importantes deixam de ser avaliados ou são limitados à implementação de uma abordagem específica quando, de fato, existem várias outras possibilidades. Um exemplo disto é a forma como será abordada a interação dos múltiplos usuários com os objetos presentes no ambiente. Existem diferentes formas de gerenciar esse tipo de interação (alguns citados na Seção 2.3.4.2 do Capítulo 2). No entanto, os conjuntos de bibliotecas existentes geralmente dão suporte a apenas uma das formas, o que limita desenvolvedores na construção de seus ambientes.

Este Capítulo descreve as etapas realizadas para desenvolver o módulo de colaboração para o CyberMed. Inicialmente foram definidos requisitos necessários para a construção do *CybCollaboration*. A etapa de desenvolvimento conta com fases como reestruturação de módulos do CyberMed; projeto e implementação de classes do *CybCollaboration* que atendessem os requisitos definidos e; definição de um protocolo de troca de mensagens entre os participantes de uma colaboração. A etapa final trata da integração do módulo de colaboração na arquitetura do CyberMed de forma que as funcionalidades do *framework* não fossem afetadas.

#### **4.1. Concepção**

A idéia da construção de um módulo de colaboração, o *CybCollaboration*, para integrar o sistema CyberMed surgiu com o propósito de enriquecer as funcionalidades do *framework* de modo que ele passe a oferecer também, atividades relacionadas à colaboração entre os usuários. Este módulo visa não apenas prover colaboração para múltiplos participantes de um AV de simulação médica, mas prover a colaboração de maneiras diferentes (descritas na sessão 2.3.4), de modo que o desenvolvedor do ambiente fique livre para escolher a que se enquadrar melhor em seu caso específico. Trata-se de um conjunto de serviços em alto nível que fará com que programadores não precisem se preocupar com detalhes de implementação como, por exemplo, como será feita a comunicação entre os participantes, e se concentrem apenas nos quesitos funcionais do ambiente a ser desenvolvido. Além disso, é também foco do *CybCollaboration* promover a colaboração através de dispositivos de interação convencionais e não-convencionais, inclusive dispositivos hápticos. Estes que são essenciais em simulações de procedimentos médicos nos quais há a necessidade de interação com o paciente através do tato. No entanto, não são tão explorados no contexto colaborativo devido às limitações impostas por sua alta taxa de dados, o que implica em uma elevada taxa de transmissão de dados em redes.

O CyberMed foi escolhido por se tratar de um *framework* que disponibiliza

diversas funcionalidades, inclusive aquelas que são muito pouco encontradas em trabalhos da área, mas são relevantes na construção de ambientes de simulação médica, como é o caso da avaliação do usuário. Além de ser livre e de código aberto, o CyberMed tem sido testado e validado desde 2004, e se encontra em constante evolução. Serviços como suporte a rastreamento óptico e magnético [Carvalho Jr., 2009] e outros novos métodos de avaliação *online* [Santos et al., 2010] do usuário foram recentemente adicionados ao *framework* que possui ainda outras funcionalidades em desenvolvimento.

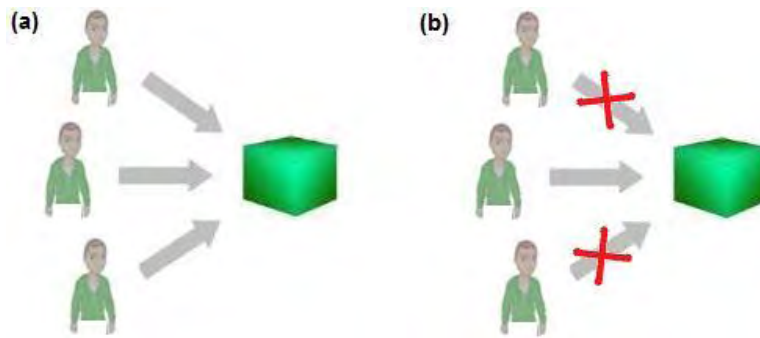
#### 4.1.1.Requisitos

O módulo CybCollaboration visa permitir que todos os serviços já disponíveis no CyberMed sejam utilizados também para a construção de simulações médicas colaborativas. Neste contexto, foram analisadas formas nas quais os usuários poderiam colaborar através da interação. Decidiu-se, então, pelo desenvolvimento de classes para dar suporte a diversos tipos de colaboração, inclusive fazendo uso de dispositivos de interação não convencionais como dispositivos hápticos e de rastreamento (*trackers*).

As principais funcionalidades previstas referiram-se a:

- **Número de Usuários**: diferentes métodos de colaboração levando em conta o número de usuários que estarão presentes no ambiente (um para um, um para vários e vários para vários, descritos no Capítulo 2). O fluxo de dados deverá se adaptar à quantidade de usuários presente na colaboração levando em conta também as demais características. O usuário do *framework* não precisará se preocupar com a quantidade de pessoas que a sua simulação colaborativa terá, o módulo se responsabiliza pela adaptação e controle de inserção e remoção de participantes;

- **Manipulação de Objetos**: duas maneiras diferentes para gerenciamento da interação de usuários com objetos presentes no ambiente, a união de interações, que permite a vários usuários interagirem com o mesmo objeto simultaneamente (Figura 18a) e a técnica de bloqueio, que bloqueia um objeto para os demais usuários quando alguém já estiver interagindo com este objeto, de maneira que apenas um usuário possa interagir com um objeto por vez (Figura 18b). A Figura 18 ilustra as interações das duas técnicas.



**Figura 18: Disposição dos usuários nas duas técnicas de manipulação de objetos. Em (a) todos interagem simultaneamente com um mesmo objeto e a união de interações é feita. Em (b) no momento em que um usuário começa a interagir com o objeto, este fica bloqueado para interação dos demais.**

Dessa forma, o usuário tem a possibilidade de criar simulações médicas com propósitos diferentes. Por exemplo, caso queira simular um procedimento com vários participantes realizando um procedimento médico, a técnica de união das interações pode ser utilizada para que todos os participantes possam interagir simultaneamente com o objeto (um órgão humano, por exemplo). Caso necessite de uma simulação onde um profissional irá ensinar a aprendizes como proceder, a técnica do bloqueio pode ser mais adequada, de maneira que o objeto fique livre apenas para o tutor interagir ao passo que os demais participantes acompanham o que for feito pelo tutor.

- **Dispositivos**: colaboração entre usuários através da utilização de dispositivos convencionais e não convencionais (Figura 19), como o mouse (convencional) e dispositivos de retorno de força (não convencionais), como o PHANToM, por exemplo. A interação com dispositivos especiais pode acarretar um realismo maior em determinadas atividades realizadas dentro de um ambiente virtual. Porém cada dispositivo possui uma natureza diferente, o que faz com que eles trabalhem com dados diferentes. Na perspectiva das informações espaciais dos dispositivos, uma das características que os diferencia é o grau de liberdade (*Degrees Of Freedom – DOF*) que eles proporcionam. O *mouse* possui dois DOF, enquanto que o PHANToM e dispositivos de rastreamento em geral têm seis DOF. Embora tenha seis DOF para movimentação, o PHANToM retorna força apenas em três direções. As divergências entre os dados dos dispositivos devem ser tratadas pelo módulo de colaboração, de maneira que o usuário não necessite saber que tipos de informações estão sendo enviadas, independente do tipo de dispositivo que estiver sendo utilizado;



**Figura 19: Exemplos de dispositivos de interação que o módulo prevê. À esquerda o *mouse*, dispositivo convencional bastante utilizado atualmente. No meio o PHANToM, dispositivo de retorno háptico, não convencional, utilizado em tarefas de natureza tátil. À direita um exemplo de dispositivo de rastreamento, o Flock of Birds.**

- **Tutoria Colaborativa**: possibilidade de determinação de um participante para ser tutor dos demais dentro do ambiente. Esta tutoria poderá ser

feita em níveis diferentes. Com a utilização de sistemas hápticos, por exemplo, pode-se determinar se os tutorados ficarão restritos aos movimentos realizados pelo tutor [Sales & Machado, 2009] ou se apenas uma representação visual do tutor irá aparecer no ambiente dos tutorados para guiá-los na atividade. Com esta funcionalidade o desenvolvedor poderá optar por criar simulações que de fato serão realizadas por uma equipe ou que poderão ter caráter de uma aula. Com objetivo de ensinar, um profissional (tutor) pode ministrar a realização de um procedimento enquanto que os aprendizes (tutorados) poderão acompanhar passo a passo em tempo real experimentando como deve ser feito o procedimento.

Estes podem ser listados como os requisitos funcionais do módulo, ou seja, aqueles requisitos que serão funcionalidades e serão utilizados diretamente pelos usuários do módulo. Além dos requisitos funcionais, havia a necessidade de que alguns outros requisitos também fossem contemplados no desenvolvimento do módulo de colaboração. Esses são conhecidos como requisitos não-funcionais e estão descritos a seguir:

- **Facilidade de utilização**: o módulo deve ser de fácil utilização, isto é, o usuário deve conseguir adicionar a possibilidade de colaboração à sua simulação com um número reduzido de linhas de código;
- **Possibilidade de expansão**: o módulo deve possuir uma arquitetura que favoreça sua expansão, isto é, a implantação de novos tipos de colaboração que porventura venham a surgir.
- **Tempo-real**: os participantes de simulações desenvolvidas com o CyberMed utilizando o módulo de colaboração devem perceber as interações dos demais em tempo real, para que não haja confusão de sensações durante a simulação médica;

Definidos os requisitos funcionais e não-funcionais do módulo o próximo passo é o desenvolvimento (análise e implementação).

## 4.2. Desenvolvimento

O desenvolvimento do trabalho foi dividido em três etapas principais. O primeiro passo foi analisar como o novo módulo se encaixaria na atual arquitetura do CyberMed. Em seguida foram feitas modificações no CyberMed para que o *framework* atendesse a requisitos do novo módulo a ser desenvolvido. A etapa seguinte trata do projeto e implementação de classes do *CybCollaboration* visando concretizar os requisitos definidos na etapa de Concepção. Foi definido ainda, como o módulo se relacionaria com outros módulos do CyberMed e descrito um protocolo de troca de mensagens para a colaboração.

### 4.2.1. Inserção do *CybCollaboration* na Arquitetura do CyberMed

Como já visto, o CyberMed é um conjunto de bibliotecas livre desenvolvido com o intuito de facilitar a construção de ambientes virtuais voltados para medicina. Foi escolhida a modelagem orientada a objetos, além da definição de alguns padrões a serem seguidos durante todo o desenvolvimento do *framework*, como o padrão Modelo/Visão/Controle. Sua arquitetura é dividida em camadas, que consistem na abstração de conceitos e provêm uma série de serviços para os usuários das bibliotecas.

O controle dos estados internos do sistema é de responsabilidade da camada Núcleo (*Core*). Esta possui funcionalidades relacionadas a entrada, cálculo, armazenamento e acesso aos dados além de gerenciar os interadores que tenham sido integrados ao CyberMed. A camada Motor de Aplicação (*Application Engine*) possui diversos métodos a serem utilizados na construção de aplicações. Pacotes para visualização, colisão, deformação, avaliação e interação háptica estão presentes nesta camada. Finalmente a camada Util (*Utils*) oferece, dentre outras funcionalidades, um conjunto de métodos para a construção de menus e outros para a realização de cálculos algébricos como cálculos de matrizes, operações de transformação linear, etc.

A Figura 20 ilustra como estas camadas estão organizadas.

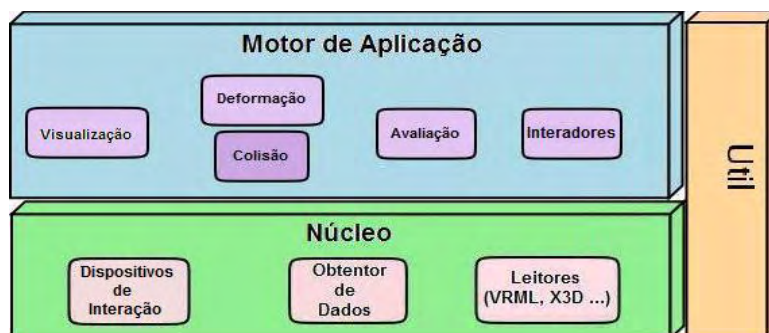


Figura 20: Visão geral da arquitetura do CyberMed e suas camadas. Adaptado de Machado et al. (2009).

Para adicionar os módulos de comunicação e colaboração ao *framework*, analisou-se sua arquitetura decidindo-se por inserí-los na camada Motor de Aplicação (*Application Engine*). Esta camada provê serviços que serão utilizados diretamente pelo usuário, como pacotes para visualização, colisão, deformação, avaliação e interação háptica. A Figura 21 permite observar a arquitetura do CyberMed após a inserção dos módulos de Colaboração e Comunicação.

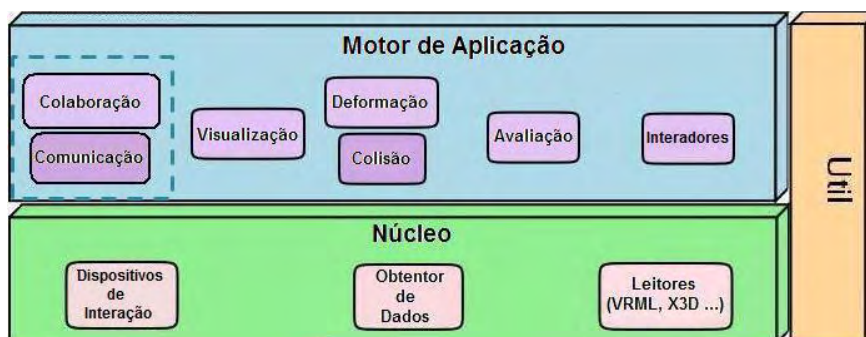


Figura 21: Visão geral da arquitetura do CyberMed após a inserção dos módulos de Colaboração e Comunicação na camada Motor de Aplicação.

#### 4.2.2. Modificações no CyberMed

Antes de iniciar o desenvolvimento do módulo *CybCollaboration* propriamente dito foi feita uma análise para verificar se o CyberMed atendia a algumas necessidades

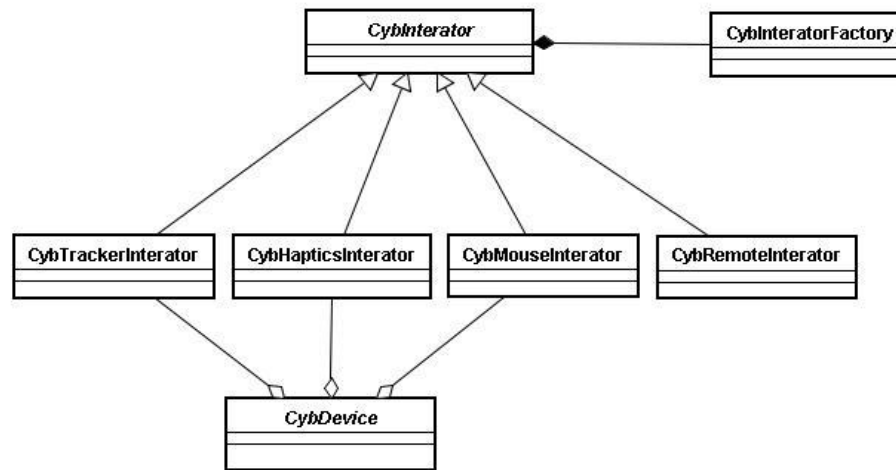
específicas do módulo de colaboração. Notou-se que era preciso realizar alguns ajustes no *framework*, sem comprometer suas funcionalidades pré-existentes, para que as necessidades do *CybCollaboration* fosse suportadas. Os trabalhos iniciais que antecederam o desenvolvimento do módulo de colaboração dizem respeito à reestruturação do módulo *CybInterator* e à criação de um esquema de eventos para alguns módulos do CyberMed.

### **Reestruturação do módulo *CybInterator***

Durante a simulação colaborativa, interadores de usuários remotos devem estar presentes no ambiente juntamente com o interador do usuário local, para que todos tomem conhecimento das interações dos demais. Entenda-se por interador a representação visual no ambiente virtual (também conhecida como avatar) do dispositivo manipulado por um determinado usuário. Foi necessário, inicialmente, reformular a estrutura de interadores presente no CyberMed, pois não havia suporte à presença de múltiplos interadores nos ambientes, o que era necessário para a colaboração. O controle de interadores em ambientes desenvolvidos com o *framework* é feito pelo módulo *CybInterator*, alvo desta reformulação.

A nova estrutura de classes do módulo *CybInterator* está exposta na Figura 22. As classes foram concebidas e implementadas seguindo o padrão de projeto *Factory* [Gamma et al., 2005], visando facilitar esta expansão e futuras adições de suporte a novos tipos de interadores. Com isso, o usuário e outros módulos do sistema necessitam apenas ter acesso à *CybInteratorFactory* e podem solicitar um interador do tipo desejado (Figura 23), sendo que esta classe se encarrega da criação desse interador e da adição do mesmo no ambiente. As classes *CybTrackerInterator*, *CybHapticsInterator* e *CybMouseInterator* representam interadores de tipos diferentes: rastreadores, interadores hápticos e *mouse*, respectivamente. A *CybDevice* contém informações e serviços necessários a qualquer dispositivo de interação utilizado. A *CybRemoteInterator* é utilizada para representar o interador de um usuário remoto, isto

é, um usuário que esteja conectado ao ambiente por meio da rede.



**Figura 22:** Classe *CybInterator* e seus relacionamento com as demais classes que fazem parte da interação do CyberMed. O padrão Factory foi adotado para centralizar a instanciação de objetos de interadores e facilitar a manutenção e expansão.

```
CybInterator* interator = CybInteratorFactory::getInterator(HAPTIC_INTERATOR);
```

**Figura 23:** Exemplo de código para solicitar um interador.

Por fim, para possibilitar a presença de múltiplos interadores em um ambiente foi adicionada uma lista de interadores (lista de objetos do tipo *CybInterator*) no núcleo do CyberMed, mais especificamente na classe *CybParameters*. Como a *CybInterator* é uma classe genérica, para todos os tipos de interadores, a lista pode conter interadores de tipos diferentes. Todos os interadores solicitados são adicionados nessa lista, inclusive interadores que representam usuários remotos conectados através da rede. No ponto em que a cena vai ser renderizada, essa lista é percorrida de forma que todos os interadores ativos no momento sejam exibidos no ambiente.

A *CybInterator* passa agora a suportar as necessidades do módulo de colaboração sem afetar serviços que já existiam.

## Alterações no módulo *CybView*

O módulo *CybView* é responsável por gerar a visualização do ambiente virtual através de chamadas de rotinas da OpenGL. Esse módulo não previa a exibição de múltiplos interadores no ambiente. Como só era possível se ter um interador na aplicação, a *CybView* se preocupava apenas em exibir esse interador. Para possibilitar a visualização de mais de um interador, pequenas modificações tiveram de ser feitas. As classes do *CybView* passaram a ter acesso à lista de interadores presente no núcleo do CyberMed (mais especificamente na classe *CybParameters*) que contém todos os interadores solicitados pelo usuário e interadores de participantes remotos. De posse dessa lista, o objeto que representa o interador pode ser desenhado de maneira simplificada. Basta que seja invocado o método *drawInterator()* de cada interador que eles se responsabilizam por exibir o objeto no ambiente com todos os parâmetros ajustados (posição, rotação e outros dependendo dos graus de liberdade do dispositivo utilizado).

As classes alteradas foram: *CybViewMono*, *CybViewAnaglyph*, *CybViewColorAnaglyph* e *CybViewShutter*. Em todas elas foi inserido o trecho de código mostrado na Figura 24. Nas classes de visão estereoscópica (*CybViewAnaglyph*, *CybViewColorAnaglyph* e *CybViewShutter*), o trecho foi inserido devido à necessidade das técnicas de visualização tridimensional utilizadas.

```
1 //Interator objects
2 int numInterators = cybCore->getNumInterators();
3 for (int i = 0; i < numInterators; i++) {
4     CybInterator* interator = cybCore->getInterator(i);
5
6     interator->drawInterator();
7 }
```

Figura 24: Trecho de código para desenhar os interadores no ambiente virtual.

## **Alterações no módulo *CybCollision***

O *CybCollision* é o módulo do CyberMed responsável pelo tratamento de colisões entre objetos presentes no ambiente. Nele são disponibilizados diversos métodos de verificação de colisão, tais como: esfera-triângulo, colisão ampla (*Broad Collision*) e colisão estreita (*Narrow Collision*). Suas classes possuem rotinas para verificar se houve colisão entre um par interador-objeto. Caso algum evento de colisão ocorra, o usuário é informado para que possa tomar a providência desejada. Como o *framework* passou a permitir a presença de mais de um interador no ambiente, era necessário dar ao usuário a possibilidade de escolher o interador que ele quer verificar eventos de colisão. Dessa forma, foi preciso modificar os construtores de algumas classes do módulo de colisão. Os construtores passaram a receber como parâmetro além do identificador da camada (objeto), uma referência para o interador que participará do processo de colisão. Assim, o usuário fica livre para escolher quais interadores ele deseja verificar colisão com objetos. Caso queira constatar colisão para mais de um interador, o usuário deverá instanciar a classe de colisão desejada para cada par interador-objeto.

## **Eventos**

Adicionalmente, foi implementado um esquema de eventos e “*listeners*” para determinadas classes do CyberMed. O objetivo desse esquema é fazer com que alguns módulos sejam notificados sobre mudanças ocorridas em dados de outros módulos.

Os eventos são importantes para a colaboração devido à necessidade desta de informar aos demais participantes (remotos), de modificações ocorridas no ambiente virtual do participante local. Por exemplo, sempre que houver mudanças em parâmetros como posição ou rotação de objetos e interadores, o *CybCollaboration* deve ser notificado e imediatamente repassar essas informações para os ambientes de todos os outros participantes. Dessa forma, é possível garantir que os participantes da

colaboração estão compartilhando um ambiente virtual com as mesmas características, mantendo a conformidade da simulação. Os eventos relacionados ao módulo de colaboração são detalhados na sessão 4.2.2.1 deste documento.

### 4.2.3. O Módulo de Colaboração

O *CybCollaboration*, nome dado ao módulo de colaboração do CyberMed, foi dividido em algumas partes formadas por classes que foram pensadas e implementadas de acordo com as atribuições de cada parte do módulo. Basicamente, pôde-se distinguir três partes principais, a primeira formada pelas classes *CybCollaboration*, *CybCollaborationProperties* e *CybCollaborationIntegrant*. Estas contêm informações e operações a serem utilizadas por todas as outras classes e podem ser vistas como o núcleo do módulo. A segunda diz respeito às colaborações relativas aos dispositivos de interação. As classes *CybMouseCollaboration*, *CybHapticCollaboration* e *CybTrackerCollaboration* tem informações básicas sobre colaboração com os respectivos tipos de dispositivos. Essas classes podem ser utilizadas para criar um ambiente de colaboração com características básicas, ou podem ser herdadas para a criação de ambientes com características específicas. A terceira parte se refere às colaborações derivadas. Esta é formada por classes que derivam das classes de colaboração básicas e ajustam as características para formar um ambiente de colaboração mais personalizado. Por enquanto, apenas a classe *CybHapticAssistedCollab* está implementada.

A implementação das funcionalidades visou simplificar a utilização do módulo no desenvolvimento de aplicações, bem como facilitar a inclusão futura de novos tipos de colaboração. A estrutura de classes exibida na Figura 25 ilustra de forma simplificada como o módulo está definido. A *CybCollaboration* é a classe principal e contém operações que são utilizadas por todos os tipos de colaboração. As classes que herdam de *CybCollaboration* foram divididas de acordo com o tipo de dispositivo utilizado na colaboração. A diversidade de número de usuários foi implementada de forma

transparente para o usuário, ou seja, o sistema se adapta de acordo com os usuários que se conectarem à colaboração. Com comportamento diferenciado, a classe *CybAssistedHapticCollab*, responsável pela colaboração háptica com presença de um tutor, implementa somente a colaboração um para vários no quesito número de usuários. Isto ocorre pelo fato de o fluxo de informações seguir somente em uma direção, do tutor para os tutorados. As propriedades principais da colaboração são armazenadas na classe *CybCollaborationProperties*. Esta contém operações para habilitar ou desabilitar colisão e deformação durante a colaboração além de outras que permitem ao usuário informar qual tipo de manipulação de objetos ele deseja em sua colaboração. A *CybCollaborationIntegrant* é a classe que representa um integrante da colaboração. Para cada integrante presente na colaboração existe uma instância dessa classe. Nela podem ser encontradas informações como nome, endereço IP, além de uma referência para o interador (*CybRemoteInterator*) que representa este integrante no ambiente.

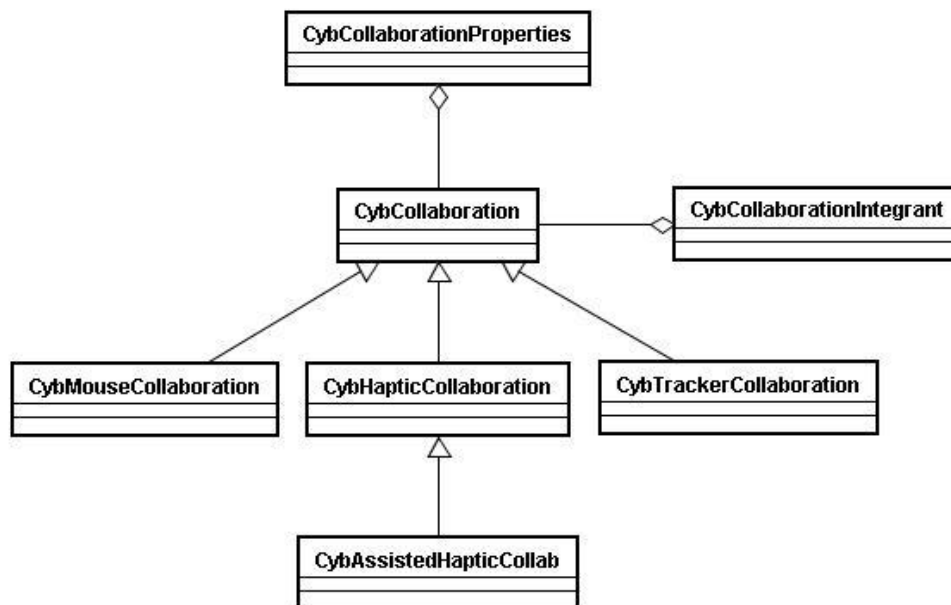


Figura 25: Estrutura das classes do módulo de Colaboração construído para o CyberMed.

## Eventos e o CybCollaboration

Para que o módulo de colaboração fosse notificado de modificações ocorridas em dados pertencentes a outros módulos, um esquema de eventos foi implementado no CyberMed. Este esquema pode ser utilizado por qualquer outro módulo sem restrições. Foram feitas classes que representam escutadores de determinados eventos. As classes interessadas podem ficar monitorando o mouse (*CybMouseListener*), a chegada de dados na rede (*CybReceiverThreadListener*), os interadores (*CybInteratorListener*) e as camadas (objetos) presentes no ambiente (*CybLayerListener*). Para que uma classe esteja habilitada a monitorar tais eventos é necessário que ela seja uma subclasse do “*Listener*” que lhe interessa. No caso específico da *CybCollaboration* havia a necessidade de “escutar” todos os eventos. Dessa forma, qualquer alteração feita no ambiente virtual de um participante imediatamente é notificada à *CybCollaboration* para que ela se encarregue de repassar a informação aos demais participantes, mantendo os AVs em conformidade. A Figura 26 exibe as classes “*Listeners*” com seus métodos (puramente virtuais, isto é, não implementados) a serem implementados pelas subclasses. Ainda na Figura 26, a *CybCollaboration* aparece como subclasse de todos os *Listeners*.

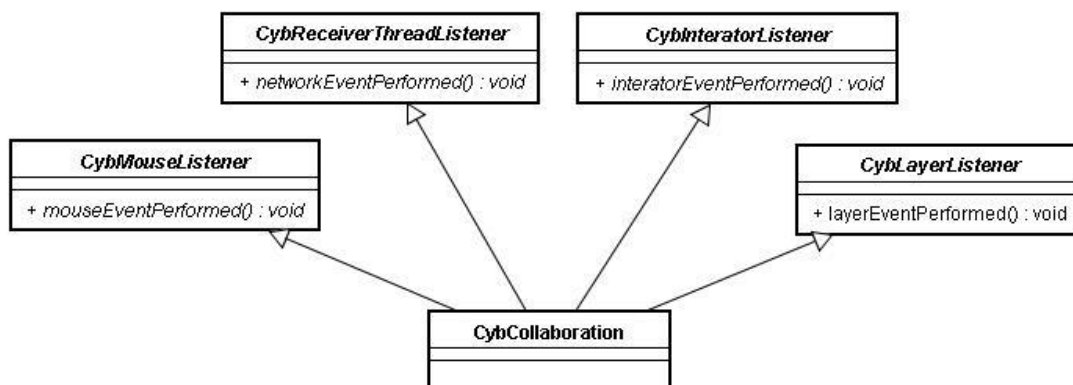


Figura 26: *CybCollaboration* como subclasse de todos os *Listeners*.

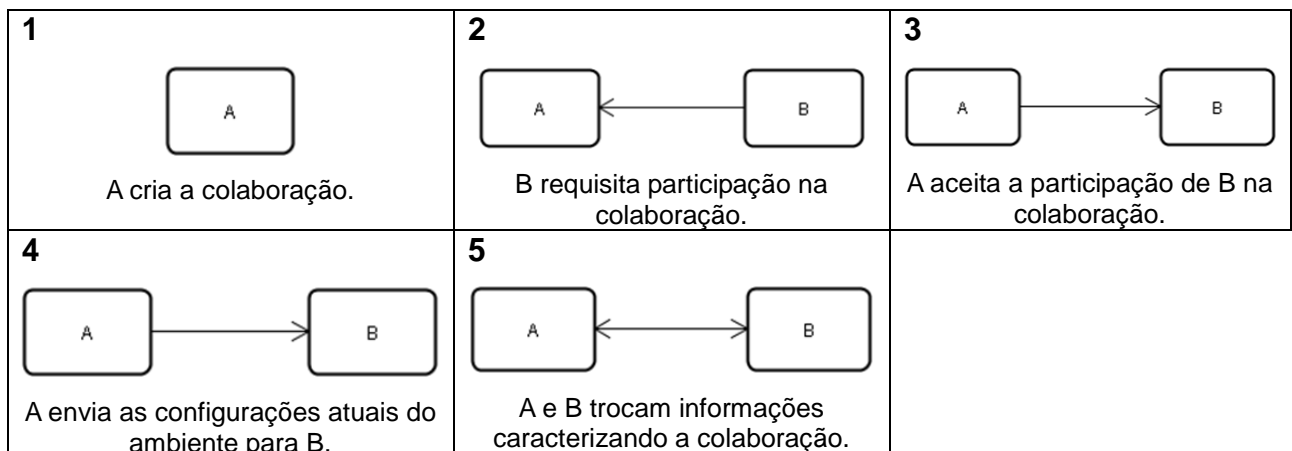
## Protocolo e Tipos de Mensagens

Para possibilitar a troca de informações entre os participantes de uma colaboração, um protocolo foi descrito. Este protocolo define como informações de interações de um participante serão passadas para os demais de forma que todos consigam “conversar” para manter seus ambientes virtuais em conformidade. Os usuários do CyberMed não precisam conhecer este protocolo, ele apenas deve ser conhecido pelo módulo de colaboração e por quem desejar acrescentar novos tipos de colaboração ao módulo. Os tipos de mensagens estão descritos a seguir:

- **JOIN\_REQUEST**: mensagem enviada ao criador da colaboração para solicitar participação;
- **LEAVE\_REQUEST**: mensagem enviada ao criador da colaboração para solicitar o desligamento da mesma;
- **ACCEPT**: criador da colaboração responde ao solicitante para informar se sua participação foi aceita ou não através de uma mensagem do tipo ACCEPT.
- **SCENE\_CONFIGURATION**: ao aceitar uma requisição de colaboração, o host criador da mesma envia a configuração atual do ambiente através de uma mensagem do tipo SCENE\_CONFIGURATION;
- **INTERATOR\_POSITION\_CHANGE**: mensagem enviada para informar alteração na posição de determinado interador;
- **INTERATOR\_ROTATION\_CHANGE**: mensagem enviada para informar alteração na rotação de determinado interador;
- **INTERATOR\_COLOR\_CHANGE**: mensagem enviada para informar alteração nos parâmetros de cor ou transparência de determinado interador;

- **LAYER\_POSITION\_CHANGE**: mensagem enviada para informar alteração na posição de determinado objeto (camada);
- **LAYER\_ROTATION\_CHANGE**: mensagem enviada para informar alteração na rotação de determinado objeto (camada);
- **LAYER\_COLOR\_CHANGE**: mensagem enviada para informar alteração nos parâmetros de cor ou transparência determinado objeto (camada);

Para dar início a uma colaboração foi definida uma sequência de passos. Inicialmente, deve ser criada a colaboração por um dos usuários que pretendem participar da colaboração. Criado o ambiente colaborativo (Figura 27-1), a aplicação fica esperando por solicitações de participação provenientes de usuários remotos. Ao ser notificada da solicitação de participação de um novo usuário na colaboração (Figura 27-2), a aplicação “criadora” do ambiente colaborativo envia uma confirmação para informar ao usuário que ele foi aceito na colaboração (Figura 27-3). Em seguida, os dados das configurações atuais do ambiente além de informações sobre todos os participantes são enviados ao novo integrante (Figura 27-4). O novo integrante agora está apto a receber e enviar informações de interações para todos os demais participantes, estando assim participando da colaboração (Figura 27-5).



**Figura 27: Sequência de passos do protocolo para dar início a colaboração entre dois usuários.**

## Relação com o *CybNetwork*

O *CybNetwork* consiste em um conjunto de classes implementadas em C++ com a utilização de sockets, desenvolvido para ser o módulo de comunicação em rede do CyberMed. Foram utilizados dois protocolos na construção deste módulo, o TCP (*Transmission Control Protocol*) e o UDP (*User Datagram Protocol*), por se tratar de protocolos bastante utilizados pela rede mundial de computadores [Pereira, 2008]. Embora implementado, o *CybNetwork* ainda não havia sido integrado ao CyberMed por se encontrar em fase de validação.

Por se adequar às necessidades do módulo de colaboração (precisando apenas de pequenos ajustes), decidiu-se pelo uso do *CybNetwork* para fazer toda a comunicação entre os participantes de colaborações criadas com o CyberMed. Dessa forma, não foi necessário implementar rotinas de comunicação em rede, o que acelerou o processo de desenvolvimento do *CybCollaboration*.

Para ser mais específico, a relação do módulo de colaboração com o *CybNetwork* se refere à utilização de três classes: *CybUDPServer*, *CybReceiverThread* e *CybNodeAdress*. A primeira é responsável pela criação de um nó na rede utilizando o protocolo UDP. A segunda funciona como um “escutador” da rede, isto é, ela contém operações que permite perceber qualquer dado que chegue ao *socket*. A terceira armazena informações de endereço de um determinado nó, tais como endereço IP, número de porta, dentre outras. A Figura 28 exhibe o relacionamento dos módulos *CybNetwork* e *CybCollaboration* mostrando como suas classes estão ligadas.

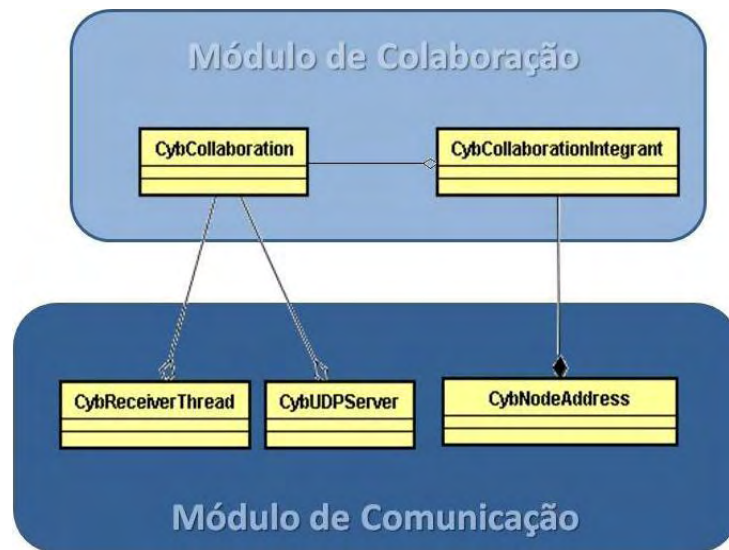


Figura 28: Dependência entre os módulos *CybCollaboration* e *CybNetwork*.

### 4.3. Conclusão

Este Capítulo apresentou as etapas do desenvolvimento do módulo *CybCollaboration*. Inicialmente foi mostrado como o módulo foi idealizado, falando um pouco sobre os propósitos deste trabalho bem como o que ele pretende oferecer. Foi feita uma análise de requisitos para definir melhor as funcionalidades que o módulo deveria conter. Com os requisitos definidos, partiu-se para o desenvolvimento do *CybCollaboration* propriamente dito. O Capítulo mostra as modificações que precisaram ser feitas no CyberMed para que este suportasse um módulo de colaboração, sem comprometer suas funcionalidades pré-existentes. Os diagramas de classes do *CybCollaboration* são exibidos e discutidos, assim como detalhes de implementação e dependência de outros módulos. Por fim, é mostrado como o módulo de colaboração foi inserido na arquitetura do CyberMed para que pudesse ser disponibilizado juntamente com o *framework*.

# **5 Resultados**

O desenvolvimento do *CybCollaboration* visou possibilitar a criação de simulações médicas com colaboração nas quais os participantes pudessem interagir e perceber interações dos demais participantes em tempo real. Esse tipo de abordagem é caracterizado pela presença de comunicação síncrona entre os usuários, ou seja, as interações são instantaneamente repassadas para os outros participantes de forma que eles possam percebê-las no mesmo instante que foram realizadas.

Para verificar se o módulo realmente atendia às expectativas de desempenho requeridas pelas formas de colaborações implementadas, foi necessário criar aplicações teste. A construção de aplicações teste com base nas funcionalidades providas pelo novo módulo serviu como base para que o módulo de colaboração, juntamente com as modificações realizadas no *framework*, fossem validados.

Este Capítulo tem como objetivo demonstrar como foi feito o desenvolvimento das aplicações teste que serviram para validar o funcionamento do *CybCollaboration* e das demais modificações realizadas no CyberMed durante o desenvolvimento deste trabalho. Com essas aplicações foi possível obter resultados concretos da utilização do módulo de colaboração integrado ao *framework*. Além disso, também neste Capítulo, é feita uma análise de desempenho dos principais tipos de colaboração do módulo.

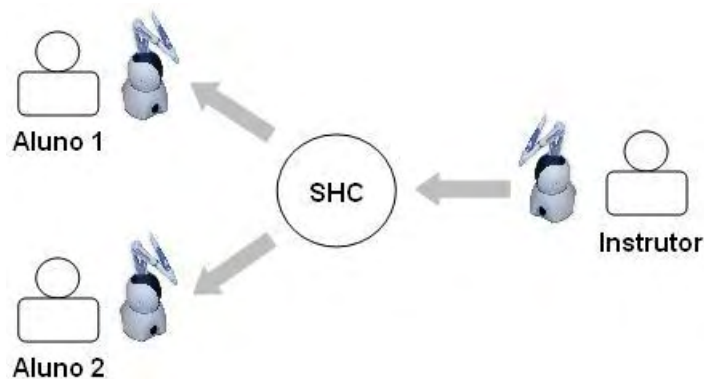
## **5.1. Resultados Iniciais**

Antes de iniciar o desenvolvimento do *CybCollaboration* foram feitos alguns testes a fim de examinar a viabilidade de funcionalidades previstas para o módulo. Um dos objetivos do módulo era prover colaboração através de dispositivos não convencionais, como dispositivos hápticos. Tendo em vista que a inserção de sistemas hápticos em ambientes virtuais colaborativos não se trata de tarefa trivial, foi decidido por construir aplicações teste para esse tipo de dispositivo. Foram construídas duas aplicações baseadas em funcionalidades previstas para o *CybCollaboration*: a primeira conta com a presença de um participante que guiará os demais durante a execução, por meio da movimentação do seu dispositivo háptico; na segunda, os participantes do

ambiente são livres para explorá-lo através de seus dispositivos hápticos, tendo a opção de serem atraídos ou não para a localização atual do tutor. Essas aplicações se caracterizam pela participação de múltiplos usuários em um ambiente virtual que apresenta atividades colaborativas a serem desempenhadas. As atividades não são diretamente relacionadas com procedimentos médicos, mas têm potencial para serem utilizadas no treinamento de estudantes da área de saúde apenas com mudanças mínimas.

Para os experimentos foi adotado o protocolo de transporte UDP (*User Datagram Protocol*) que se caracteriza por ser um protocolo sem conexão e não confiável, pois diferentemente do TCP (*Transmission Control Protocol*), não detecta perdas nem realiza o reenvio de mensagens. O UDP geralmente é destinado a aplicações que não requerem controle de fluxo e a entrega imediata dos dados é mais importante do que a entrega precisa, como é o caso do experimento em questão. A exemplo de aplicações nas quais se recomenda a utilização do UDP podem ainda ser citadas as que fazem transmissão de dados de voz ou vídeo [Tanenbaum, 2003]. O modelo de comunicação adotado foi o *peer-to-peer* ou comunicação não-hierárquica, que implica na comunicação direta entre os participantes. Os participantes comunicam-se sem a existência da divisão entre cliente e servidor. Esse modelo foi adotado com intuito de evitar que uma suposta centralização da troca de mensagens (servidor) pudesse gerar gargalos e atrasos maiores que poderiam comprometer o experimento. A Figura 29 esboça o fluxo de dados entre instrutor e alunos. Trata-se de comunicação síncrona entre os participantes de forma que os dados seguem sempre do tutor para os alunos através do Sistema Háptico Colaborativo.

O dispositivo utilizado para interação háptica foi o PHANToM Omni, que atua a uma taxa de dados de 1000Hz. O PHANToM consiste em um braço mecânico que possibilita movimentos com 6 graus de liberdade e fornece reações tátil e de força com 3 graus de liberdade, em translações e rotações. O modelo utilizado produz uma força máxima de 1,7N e rigidez de 3000 N/m.



**Figura 29: Ilustração do fluxo de dados da aplicação.**

Para ambos os experimentos foi modelado um ambiente virtual composto por uma esfera que possui uma representação visual e háptica, permitindo que o usuário possa interagir com ela através do dispositivo háptico e sentir sua forma por meio do retorno tátil. A esfera possui propriedades de rigidez, rugosidade e textura adaptáveis além de outras propriedades que podem ser atribuídas (atrito estático e dinâmico, por exemplo), mas não foram levadas em conta neste trabalho. Outro objeto presente no AV representa visualmente o cursor do usuário, isto é, a localização espacial do dispositivo háptico manuseado pelo usuário. O experimento está apto para ser executado comunicando-se através da internet, porém os testes foram realizados em um ambiente laboratorial que possui rede local com velocidade *Gigabit*.

### **5.1.1. Guia através de posições do dispositivo háptico**

O Guia através de posições do dispositivo háptico consiste em uma aplicação na qual há um tutor que ao movimentar seu dispositivo, informações sobre sua atual posição são enviadas para o(s) tutorado(s). Dessa forma, o tutor consegue replicar no dispositivo dos seus guiados, o movimento exato que está fazendo, em tempo real. Os participantes que estão sendo guiados observam e acompanham os movimentos do tutor, reproduzidos em tempo real nos seus dispositivos hápticos.

Este experimento foi desenvolvido com intuito de validar dois tipos de

colaboração háptica na presença de um tutor:

- Um para um; e
- Um para vários.

No primeiro caso, apenas o tutor e um participante estavam presentes no ambiente, caracterizando a colaboração um para um, ilustrada na Figura 30. No segundo caso, um tutor guiou dois outros participantes, estando presentes no ambiente três pessoas, caracterizando assim a colaboração um para vários [Sales & Machado, 2009].



**Figura 30: Colaboração háptica um para um, sendo um dos participantes o tutor e o outro o tutorado [Sales & Machado, 2009].**

Uma limitação tecnológica enfrentada neste experimento trata-se da dificuldade de replicação do retorno de força sentido pelo guia para o guiado. Apesar de os dispositivos dos dois usuários (guia e guiado) estarem sempre na mesma posição, para que o retorno de força sentido pelo guia seja também percebido pelo guiado, este terá que aplicar a mesma força aplicada por aquele. Neste caso, fazer com que o guiado aplique a mesma força aplicada pelo guia é mais um desafio que pode ser abordado em outros experimentos.

### **5.1.2. Interação livre com o dispositivo háptico**

Ao contrário do experimento anterior, neste os movimentos do participante

tutorado não ficam restritos aos movimentos realizados pelo tutor. Ao invés disso, o tutorado tem liberdade para movimentar seu dispositivo háptico no ambiente. Entretanto, um objeto que representa o cursor do tutor é exibido no ambiente do tutorado para que este possa verificar toda a movimentação realizada pelo tutor. Além disso, o tutorado pode escolher entre ter seu dispositivo atraído ou não para a posição onde se encontra o dispositivo do tutor. Ao apertar e segurar um dos botões existentes no dispositivo háptico utilizado, uma força de atração é exercida para a posição onde se encontra o tutor no ambiente. Essa força diminui à medida que os dois (tutorado e tutor) aproximam-se do mesmo ponto e aumenta caso contrário.

Já o tutor se move livremente pelo seu ambiente e informações sobre seus movimentos são enviadas às estações dos tutorados para que a posição do objeto que representa o interador do tutor em seus ambientes seja atualizada. O ambiente do tutor é composto pelos mesmos objetos virtuais que aparecem nos ambientes dos tutorados e pelo objeto que representa o interador do próprio tutor. Os interadores dos tutorados não aparecem na cena do tutor para que este possa livremente evoluir no procedimento desejado.

## **5.2. Utilização e Testes do Cybcollaboration**

Os passos para a inserção de colaboração em uma aplicação desenvolvida com o CyberMed visou a simplicidade de entendimento tanto por usuários do *framework* quanto para quem nunca teve contato com ele. A seguir são mostrados alguns exemplos de códigos para inserir colaboração em uma aplicação que utiliza o CyberMed. A Figura 31 exibe o código necessário para prover colaboração através do *mouse*. Para que usuários possam colaborar em um ambiente compartilhado é necessário que um deles “crie a colaboração” e os demais solicitem participação nela. O código disposto na parte **A** da Figura 31 é relativo à criação da colaboração enquanto que o da parte **B** diz respeito a um usuário solicitando participação em uma colaboração já existente. O primeiro passo nos dois casos é instanciar a classe

*CybMouseCollaboration* informando o número da porta local (porta que ficara “escutando” a rede) que será utilizada para a comunicação. Em seguida, também nos dois casos, é necessário passar para classe de colaboração uma referência para o obtentor de dados do CyberMed. A diferença entre uma aplicação que cria uma colaboração e uma que solicita participação em uma colaboração já existente está no terceiro passo. Em **A** (criação da colaboração) o método chamado é o *createCollaboration()*, sem parâmetros. Já em **B** (requisição de participação) o método chamado é o *joinCollab()*, informando um nome para o novo participante, o endereço IP e a porta do criador da colaboração. Neste caso, o solicitante da colaboração enviará dados pela porta 5000 e receberá pela porta 5001.

**A**

```
1 CybCollaboration* cybCollaboration = new CybMouseCollaboration(5001);
2 cybCollaboration->setDataObtainer(&data);
3 cybCollaboration->createCollaboration();
```

**B**

```
1 CybCollaboration* cybCollaboration = new CybMouseCollaboration(5000);
2 cybCollaboration->setDataObtainer(&data);
3 cybCollaboration->joinCollab("Participante1", "150.165.134.166", 5001);
```

**Figura 31: Códigos para colaboração através do *mouse* em aplicação desenvolvida com o Cybermed. Em A, código para criar uma colaboração. Em B, código para solicitar participação em colaboração existente.**

Para colaboração utilizando o dispositivo háptico, o procedimento é bastante semelhante. A única alteração é a classe a ser instanciada, que neste caso é a *CybHapticCollaboration*. No código da Figura 32 **A**, uma operação adicional é utilizada, trata-se do método *setIteratorModel()* que recebe como parâmetro o caminho de um arquivo. Este método informa à classe de colaboração o arquivo relativo ao modelo a

ser utilizado para representar os interadores dos participantes da colaboração.

#### A

```
1 CybHapticCollaboration* cybCollaboration = new CybHapticCollaboration(5001);  
2 cybCollaboration->setDataObtainer(&data);  
3 cybCollaboration->setInteratorModel("agulha_unida2.wrl");  
4 cybCollaboration->createCollaboration();
```

#### B

```
1 CybHapticCollaboration* cybCollaboration = new CybHapticCollaboration(5000);  
2 cybCollaboration->setDataObtainer(&data);  
3 cybCollaboration->joinCollab("Participante1", argv[1], 5001);
```

**Figura 32: Códigos para colaboração através de dispositivos hápticos em aplicação desenvolvida com o Cybermed. A criação (A) e a requisição de participação (B) são semelhantes à colaboração por meio do *mouse*.**

É importante ressaltar que esses códigos demonstrados são referentes a colaborações com características padrão. Por exemplo, caso queira modificar o tipo de manipulação de objetos ou outras características, o usuário deverá utilizar operações da classe *CybCollaborationProperties*. As classes de colaboração, ao serem instanciadas, criam um objeto da *CybCollaborationProperties* com características padrão, caso o usuário não passe nenhum objeto deste tipo como parâmetro.

### 5.2.1. Testes

Para a realização dos testes foi construído um ambiente composto por dois objetos, um que representa interador do usuário e outro que faz parte do ambiente e pode ser manipulado pelos participantes da colaboração. Todas as aplicações foram executadas em computadores interligados em rede local de velocidade *Gigabit*.

Nos testes da colaboração através do *mouse* os interadores dos participantes

foram representados por esferas. Uma esfera de cor vermelha se refere ao interador do usuário local enquanto que esferas de cor verde representaram os demais participantes da colaboração (remotos). Os testes foram realizados com até cinco computadores. Os participantes foram orientados a explorar o ambiente livremente através de seus dispositivos, bem como interagir com o objeto presente no ambiente. A Figura 33 exibe a aplicação em execução. Do lado esquerdo três computadores são interligados pela aplicação compartilhando o mesmo ambiente virtual. À direita, dois usuários começam a explorar o ambiente livremente, movendo seus dispositivos e interagindo com o objeto presente no ambiente. As movimentações e interações realizadas por cada participante é instantaneamente percebida pelos demais.



**Figura 33: Aplicação teste para colaboração através do mouse. À esquerda, três computadores executando a aplicação, compartilhando o mesmo ambiente. À direita, dois participantes explorando o ambiente por meio de seus dispositivos.**

Para colaboração através de dispositivos hápticos, testes foram realizados com dois e três computadores dotados de dispositivos hápticos de dois modelos diferentes. Tratavam-se de PHANToMs (descrito na seção 2.2) dos modelos Omni e Desktop. Eles diferenciam-se, dentre outras coisas, pela capacidade da intensidade do retorno de força, precisão das propriedades de rigidez, rugosidade, etc [Sensable, 2010]. Situações diferentes foram examinadas:

- Dois usuários com liberdade de movimentação do dispositivo;
- Dois usuários sendo um guia e outro guiado;
- Três usuários com liberdade de movimentação do dispositivo;
- Três usuários sendo um guia e outros dois guiados.

Nestes casos, os interadores dos participantes foram representados por seringas ou objetos semelhantes a ferramentas médicas. Objetos deste tipo permitem aos usuários perceberem a movimentação dos demais em todos os graus de liberdade do dispositivo háptico.

Adicionalmente, foi solicitado aos participantes que movessem continuamente seus dispositivos para que pudesse ser observada a taxa máxima de dados que era recebida por cada participante. Com a ferramenta de monitoramento de rede System Monitor foi possível verificar as taxas para diferentes números de participantes. A Tabela 2 exibe valores para dois, três, quatro e cinco usuários presentes na colaboração utilizando o *mouse* como dispositivo de interação. Já a Tabela 3 se refere à colaboração através do Phantom e mostra valores para dois e três participantes em dois casos diferentes: movimentação apenas do dispositivo háptico e; manipulação do objeto presente no ambiente (através do *mouse*) simultaneamente à movimentação do dispositivo háptico. Os testes de colaboração com o Phantom foram limitados a 3 participantes devido à disponibilidade de dispositivos deste tipo no laboratório onde os testes foram realizados.

**Tabela 2: Taxas de dados (recebidos) atingidas durante colaboração através do *mouse* com números de participantes diferentes.**

Número de Participantes	Taxa máxima de dados
2	7.8 KB/s
3	12.7 KB/s
4	20.2 KB/s
5	27.5 KB/s

À medida que o número de participantes da colaboração aumenta, a taxa de dados recebida por cada participante é maior. Isso ocorre devido às atualizações de propriedades (posição, rotação, etc.) dos interadores dos demais participantes. Neste caso, cada participante a mais no cenário da colaboração significa um interador a mais a ser representado no ambiente dos demais participantes. O que faz com que o novo participante tenha que enviar em tempo-real informações sobre propriedades do seu interador, aumentando assim a taxa de dados recebida pelos demais.

**Tabela 3: Taxas de dados atingidas durante colaboração através do PHANToM, com números de participantes diferentes, interagindo ou não com objetos presentes no ambiente virtual.**

Número de Participantes	Taxa máxima de dados (PHANToM)	Taxa máxima de dados (PHANToM + Objeto)
2	9.8 KB/s	15.2 KB/s
3	13.0 KB/s	21.2 KB/s

Pelos valores exibidos nas Tabelas 2 e 3 pode-se perceber que a realização de experimentos colaborativos através da interação é viável de ser feita em ambientes de Internet sem que haja problemas maiores. Apesar de demandar uma banda de rede maior, a colaboração com dispositivos hápticos atingiu níveis aceitáveis de taxas de envio/recebimento de dados.

Havia ainda a necessidade de se construir uma simulação real de um procedimento médico colaborativo a fim de validar o funcionamento do módulo para o propósito ao qual ele foi desenvolvido. Nesse contexto, foi utilizada uma simulação de um procedimento de coleta de medula óssea construída com o CyberMed [Machado, 2003]. Esta aplicação foi adaptada para prover colaboração entre os participantes através da interação háptica. A coleta de medula óssea consiste em um procedimento em que o médico interage com o paciente a fim de extrair material para doação. Durante o processo, o médico não possui informações visuais do interior do paciente. Ele deve tocar o paciente externamente e assim determinar o local correto para que a

agulha seja inserida perfurando camadas de tecido até atingir o interior do osso de onde a medula será coletada. Um ponto-chave é local de inserção da agulha e a força que o médico irá aplicar para que esta atinja o local desejado. Caso essa força seja aplicada em excesso o paciente pode apresentar seqüelas do procedimento [Machado, 2003].

A simulação está dividida em três módulos: Módulo de Observação, Módulo de Localização e Módulo de Coleta. Durante os três módulos, o profissional deverá interagir com o sistema através do dispositivo háptico Phantom. Suas interações são percebidas em tempo-real pelos estudantes conectados à simulação de forma que estes possam ter impressões sensoriais semelhantes às do procedimento real.

Nos testes com a simulação de coleta de medula óssea foram utilizados dois computadores conectados em rede local *Gigabit*. Os dois computadores dispunham de dispositivos hápticos Phantom Omni [Sensable, 2009], sendo um usuário o tutor e o outro tutorado apenas percebendo interações do tutor (Figura 34).



**Figura 34: Simulação colaborativa do procedimento de coleta de medula óssea com dois participantes, um atuando como tutor outro como tutorado.**

### **5.3. Conclusão**

Este Capítulo teve como objetivo apresentar os resultados obtidos com a utilização do módulo de colaboração desenvolvido e integrado ao CyberMed.

Inicialmente foram descritos resultados de testes realizados antes do desenvolvimento do *CybCollaboration*. Esses testes serviram como base para verificar a viabilidade de algumas funcionalidades previstas para o módulo. Posteriormente, com o módulo já implementado e integrado ao *framework* CyberMed, foram construídas aplicações de validação para examinar o funcionamento dos tipos de colaboração previstos pelo *CybCollaboration* além de analisar alguns aspectos de desempenho. Em relação a taxa de dados trafegados na rede, sensação de tempo-real, simplicidade de uso do *framework*, a execução das aplicações de validação, juntamente com o monitoramento realizado com algumas ferramentas, permitiu perceber que as funcionalidades do módulo atenderam às expectativas, bem como constatar um desempenho aceitável.

# **6** **Conclusões**

Neste trabalho foram apresentados estudos sobre a utilização de colaboração em simulações médicas computacionais que culminaram no desenvolvimento de um módulo de colaboração para o CyberMed. A princípio, como fundamentação teórica, foi realizada uma pesquisa sobre como pode ser feita a colaboração em ambientes de realidade virtual. Além disso, foi feito um levantamento da utilização de RV para treinamento médico, *frameworks* destinados à construção de simulações médicas, bem como uma análise das formas de colaboração que poderiam ter utilidade em uma simulação médica. Os principais conceitos de Realidade Virtual e a forma como esta vem sendo utilizada para auxiliar a medicina foram apresentados. Foi discutido ainda, como as simulações médicas colaborativas podem ser exploradas para promover a aprendizagem em conjunto de participantes situados geograficamente distantes.

Os estudos realizados na pesquisa serviram como base para determinar as necessidades do trabalho a ser desenvolvido. O processo de análise e levantamento de requisitos foi descrito, assim como detalhes de projeto e implementação do *CybCollaboration*. Com esta etapa pretendeu-se definir um módulo que, integrado ao CyberMed, atendesse às necessidades da construção de simulações médicas colaborativas e que esta construção fosse feita de maneira simples. Neste contexto, também foi levado em conta a flexibilidade do módulo, de forma a permitir a construção de simulações complexas bem como a adição de novas funcionalidades sem custo de desenvolvimento significativo.

Todo o trabalho foi desenvolvido com a utilização de *software* livre e está inserido na versão 2.0 do CyberMed disponível para *download* em <http://cybermed.sourceforge.net/> [CyberMed, 2010]. Este trabalho oferece como maior contribuição, a possibilidade de construção de simulações médicas colaborativas com esforço de desenvolvimento reduzido e sem custo financeiro. As simulações médicas replicam situações do mundo real, o que faz com que sejam capazes de auxiliar profissionais e estudantes no aprendizado de procedimentos médicos. No caso das simulações colaborativas há ainda algo mais a oferecer. Por exemplo, pessoas que moram em regiões que não contam com a presença de determinados especialistas

podem receber treinamento através de simulações colaborativas monitoradas remotamente. Isto é, mesmo não estando presente fisicamente no local, um especialista pode demonstrar técnicas por meio das simulações ou interações no AV, de modo que usuários conectados possam experimentar e acompanhar determinados procedimentos.

Nos resultados foi possível constatar a simplicidade de utilização do módulo *CybCollaboration* como também o funcionamento de aplicações colaborativas construídas com o novo módulo. As simulações tiveram desempenho aceitável quanto à taxa de transmissão de dados e a percepção de interações de usuários remotos em tempo real. Os resultados exibiram também aplicações colaborativas que utilizam dispositivos especiais, como os dispositivos hápticos. Nesse contexto, pôde ser observada a viabilidade da criação de simulações médicas colaborativas multisensoriais que provêm aos usuários além de retorno visual, a possibilidade de experimentarem procedimentos através do tato ou outro sentido.

Os resultados parciais deste trabalho foram apresentados publicados no Workshop de Realidade Virtual e Aumentada (WRVA) realizado na cidade de Santos-SP, em outubro de 2009 [Sales & Machado, 2009]. Os resultados completos foram aceitos para publicação na 6th *International Conference on Technology and Medical Sciences* (TMSi) que será realizada no mês de outubro do corrente ano em Porto, Portugal [Sales et al., 2010].

## **6.1. Trabalhos Futuros**

Apesar de os resultados satisfatórios obtidos com os testes do *CybCollaboration*, este ainda permite a inclusão de novas funcionalidades. Pode-se citar, por exemplo, a melhoria do desempenho e o aumento da escalabilidade do módulo, sugere-se que as mensagens sejam enviadas através de pacotes *multicast* ao invés de *unicast*. O envio de pacotes por *multicast* visa diminuir o tráfego de informações pela rede, visto que neste modo de comunicação os pacotes são endereçados a um grupo de usuários ao invés de apenas um como é feito no modo *unicast*. Isto poderá permitir um maior

número de usuários presentes na colaboração sem que haja comprometimento da comunicação entre os participantes.

Com relação à interação de múltiplos usuários com o ambiente, diversas técnicas e algoritmos foram descritos por Ruddle e seus colegas em [Ruddle et al., 2002a] e [Ruddle et al., 2002b]. Uma das técnicas descreve que a interação de múltiplos usuários com um objeto pode ser feita limitando-se os graus de liberdade do objeto para cada usuário, de forma que os usuários possam interagir com o mesmo objeto simultaneamente, mas em diferentes eixos. Em outro trabalho, o autor descreve como deve ser feito o controle das interações de dois usuários durante uma tarefa de transporte de objeto dentro de um ambiente virtual [Ruddle et al., 2003]. Como trabalho futuro sugere-se a análise dessas e outras técnicas de interação em ambientes virtuais colaborativos para serem inseridas no CyberMed, afim de possibilitar ao desenvolvedor a utilização da técnica mais adequada para a sua simulação médica.

Neste trabalho foram construídas diversas aplicações de validação e ainda, uma simulação completa do procedimento de coleta de medula óssea foi adaptada para ser realizada de maneira colaborativa. Neste sentido, observa-se a abertura de foco de pesquisa sobre a validação de aplicações colaborativas para medicina. No entanto, pode-se observar que simulações baseadas em realidade virtual são utilizadas em áreas como a odontologia [Kim & Park, 2006], a aviação [Pausch et al., 1992], dentre outras. Considerando que a utilização de colaboração para treinamento não se limita à área médica, podem ser realizados estudos para analisar como a colaboração pode ser inserida de maneira a auxiliar no treinamento também em outras áreas. Nesse caso, o estudo sobre a adição do aspecto colaborativo seria válido, pois permitiria verificar se algum benefício seria acarretado para usuários de simulações em outros campos do conhecimento que não a medicina.

## **6.2. 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, nos últimos anos, tem explorado bastante as tecnologias relacionadas à RV e a computação gráfica para buscar novas alternativas para o treinamento de procedimentos médicos. As simulações de procedimentos médicos em ambientes virtuais possibilitam a estudantes experimentação sensorial que auxilia a familiarização com o procedimento. A adição do aspecto colaborativo nessas simulações possibilita o treinamento médico em equipe e a tutoria de procedimentos médicos à distância, dentre outras coisas. Essas novas possibilidades podem contribuir de maneira significativa no aprendizado de estudantes, o que culmina na formação de profissionais de melhor qualidade que irão atender à sociedade. Além disso, abre-se foco para pesquisa e validação de diversos tipos de simulações médicas colaborativas, bem como simulações colaborativas em outras áreas do conhecimento.

Este trabalho buscou estudar e analisar conceitos referentes a colaboração em geral e, mais especificamente, a aplicação desses conceitos a ambientes virtuais voltados ao treinamento médico. Foi visto como a realidade virtual pode ser utilizada em ambientes de simulação médica, além de como a colaboração pode ser inserida nesses ambientes de forma a expandir a aplicabilidade das simulações a treinamento de equipes ou tutoria à distância. Apesar de ter como objetivo principal o desenvolvimento de aplicações de RV para simulações médicas, o CyberMed pode ser utilizado com outros propósitos. Seguindo esse pensamento, este trabalho também foi desenvolvido com o foco voltado para a área médica, mas com possibilidade de ser utilizado em outras áreas do conhecimento. No desenvolvimento do trabalho procurou-se utilizar apenas ferramentas livres já que o próprio CyberMed foi construído na filosofia de *software* livre e de código aberto. Isso implica que a utilização do *framework* pode ser dada sem que haja custo financeiro qualquer. Neste sentido é importante ressaltar que pessoas de qualquer lugar do mundo podem utilizar o *framework* e contribuir para a sua evolução, incluindo expansão do módulo de colaboração, dentro da filosofia de *software* livre.

## REFERÊNCIAS

[Allard et al., 2007] Allard, J.; Cotin, S.; Faure, F.; Bensoussan, P.J.; Poyer, F.; Duriez, C.; Delingette, H.; Grisoni, L. (2007). “**SOFA - an Open Source Framework for Medical Simulation**”. *Medicine Meets Virtual Reality 15*, pp. 1-6.

[Alverson et al., 2004] Alverson, D.C.; et al. (2004). “**Distributed Interactive Virtual Environments for Collaborative Experiential Learning and Training Independent of Distance over Internet2**”. *Medicine Meets Virtual Reality 12*, vol. 98, pp. 7-12.

[Bastos et al., 2006] Bastos, N.C.; Teichrieb, V.; Kelner, J. (2006). “**Interação com Realidade Virtual e Aumentada**” em Fundamentos e Tecnologias de Realidade Virtual e Aumentada, *VIII Symposium on Virtual Reality (Livro do pré-simpósio)*, cap. 9.

[Benford et al., 2001] Benford, S.; Greenhalgh, C.; Rodden, T.; Pycock, J. (2001). “**Collaborative virtual environments**”, *Communications of the ACM*, vol. 44, n. 7, pp. 79-85.

[Bernardo et al., 2008] Bernardo, M.; Guerra, J.E.; Rabadão, C.; Gonçalves, R.; Morgado, L. (2008). “**Perspectivas sobre o comércio no Second Life pelos próprios residentes (comerciantes e produtores de conteúdo)**”. *Conferência Comunicação, Educação e Formação no Second Life@*, Portugal.

[Blas & Poggi, 2007] Blas, N.D.; Poggi, C. (2007). “**European virtual classrooms: building effective “virtual” educational experiences**”. *Virtual Reality*, Springer, vol.11, n. 2-3, pp. 129-143.

[Bleumers et al., 2009] Bleumers, L.; Van Lier, T.; Jacobs, A. (2009). “**Presence and mediated interaction: A means to an end?**”. *Analysis of virtual worlds*, IBBT Hi-Masquerade.

[Bowman & Hodges, 1999] Bowman, D.; Hodges, L.F. (1999). “**Formalizing the Design, Evaluation, and Application of Interaction Techniques for Immersive Virtual Environments**”. *The Journal of Visual Languages and Computing*, vol. 10, n. 1, pp. 37–53.

[Bowman et al., 2008] Bowman, D.A.; Coquillart, S.; Froehlich, B.; Hirose, M.; Kitamura, Y.; Kiyokawa, K.; Stuerzlinger, W. (2008). “**3D User Interfaces: New Directions and Perspectives**”. *IEEE Computer Graphics and Applications*, vol. 28, n. 6, pp. 20-36.

[Broeren et al., 2002] Broeren, J.; Bjorkdahl, A.; Pascher, R.; Rydmark, M. (2002). “**Virtual reality and haptics as an assessment device in the postacute phase after stroke**”. *Cyberpsychology & Behavior*, vol. 5, n. 3, pp. 207-211.

[Burdea & Coiffet, 2003] Burdea, Grigore C.; Coiffet, P. (2003). “**Virtual Reality Technology**”. 2 ed. New Jersey: *Wiley-Interscience*.

[Carvalho Jr., 2009] Carvalho Jr., A.D.; Souza, D.F.L.; Machado, L.S. (2009). “**Integração de Rastreadores Magnéticos a um Framework para Desenvolvimento de Sistemas de Realidade Virtual**”. In: *Proc. XXXV Conferencia Latinoamericana de Informática (CLEI2009)*, Pelotas. CDROM.

[Chinnock, 1994] Chinnock, C. (1994). “**Virtual reality in surgery and medicine**”. *Hospital Technology Feature Report*, American Hospital Association, vol. 13, n. 18, pp. 38-41.

[Collis, 1993] Collis, B.A. (1993). **“Cooperative learning and CSCW: Research perspectives for Internetworked educational environments”**. *Lessons from learning, Archamp*, pp. 81-104.

[Corrêa et al., 2009] Corrêa, C.G.; Nunes, F.L.S.; Bezerra, A.; Carvalho, P.M. (2009). **“Evaluation of VR Medical Training Applications under the Focus of Professionals of the Health Area”**. *Proceedings of the ACM symposium on Applied Computing*, pp. 821-825.

[Cunha et al., 2006] Cunha, I.L.L.; Monteiro, B.S.; Moraes, R.M.; Machado, L.S. (2006). **“Anatoml 3D: Um Atlas Digital Baseado em Realidade Virtual para Ensino de Medicina”**. *Em: Symposium on Virtual Reality (SVR'2006)*, Belém. pp. 3-14.

[CyberMed, 2010] Cybermed. **“CyberMed: Framework for Development of Medical Simulators Based on Virtual Reality”**. Online: <http://cybermed.sourceforge.net/>. Acesso em junho de 2010.

[Cyberware, 2010] Cyberware. **“Cyberware Rapid 3D Scanners”**. Online em: <http://www.cyberware.com/>. Acesso em agosto de 2010.

[Dev et al., 2002] Dev, P.; Montgomery, K.; Senger, S.; Heinrichs, W.L.; Srivastava, S.; Waldron, K. (2002). **“Simulated Medical Learning Environments on the Internet”**, *Journal of the American Medical Informatics Association*, vol. 9, n. 5, pp. 437-447.

[Dev & Heinrichs, 2008] Dev, P.; Heinrichs, W.L. (2008). **“Learning medicine through collaboration and action: collaborative, experiential, networked learning environments”**. *Virtual Reality*, vol. 12, pp. 215-234.

[Fillippo et al., 2007] Fillippo, D.; Raposo, A.; Endler, M.; Fuks, H. (2007). “**Ambientes Colaborativos de RV e Aumentada**”. *Realidade Virtual e Aumentada: Conceitos, Proj. e Aplicações*, cap. 9, pp. 169-192.

[Fitzgerald & Riva, 2001] Fitzgerald, M.; Riva, G. (2001). “**Virtual Reality**”. *BEOLCHI, L. (ed.). Telemedicine Glossary*, European Commission-DG INFSO, pp. 327-329.

[Gamma et al., 2005] Gamma, E.; Helm, R.; Johnson, R.; Vlissides, J. (2005). “**Padrões de Projeto: Soluções reutilizáveis de software OO**”. Porto Alegre: *Bookman*.

[Garland & Heckbert, 1997] Garland, M. & Heckbert, P. (1997). “**Surface Simplification Using Quadratic Error Metrics**”, *Proc. of ACM SIGGRAPH 97*, pp. 43–52.

[Goktekin et al., 2004] Goktekin, T.; Cavusoglu, M.C.; Tendick, F.; Sastry, S. (2004). “**GiPSi: An Open Source/Open Architecture Software Development Framework for Surgical Simulation**”. *Stud Health Technol Inform.* vol. 98. pp.46-48.

[Gunn et al, 2005] Gunn, C., et al. (2005). “**Using collaborative haptics in remote surgical training**”. *Eurohaptics Conference e Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems*, pp. 481-482.

[Heinrichs et al., 2008] Heinrichs, W.L.; Youngblood, P.; Harter, P.M.; Dev, P. (2008). “**Simulation for team training and assessment: case studies of online training with virtual worlds**”. *World Journal of Surgery*, vol. 32, n. 2, pp. 161-170.

[Hindmarsh et al., 2000] Hindmarsh, J.; Fraser, M.; Heath, C.; Benford, S.; Greenhalgh, C. (2000). “**Object-Focused Interaction in Collaborative Virtual Environments**”. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction*, vol. 7, n. 4, pp. 477–509.

[Ijsselsteijn et al., 2000] Ijsselsteijn et al. (2000). “**Presence: Concept, Determinants and Measurement**”. *Proc. of SPIE, Human Vision and Electronic Imaging V*, pp. 3956-3975.

[Ishibashi et al., 2004] Ishibashi, Y.; Hasegawa, T. e Tasaka, S. (2004). “**Group Synchronization Control for Haptic Media in Networked Virtual Environments**”, *International Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems*, pp. 106-113.

[Kim et al., 2004] Kim, J.; Kim, H.; Tay, B.K.; Muniyandi, M.; Srinivasan, M.A.; Jordan, J.; Mortensen, J.; Oliveira, M.; Slater, M. (2004). “**Transatlantic Touch: A Study of Haptic Collaboration over Long Distance**”, *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, vol. 13, n. 3, pp. 328-337.

[Kim & Park, 2006] Kim, L.; Park, S.H. (2006). “**Haptic interaction and volume modeling techniques for realistic dental simulation**”. *The Visual Computer: International Journal of Computer Graphics*, vol. 22, pp. 90–98.

[Kirner & Siscoutto, 2007] Kirner, C. e Siscoutto, R.A. (2007). “**Fundamentos de Realidade Virtual e Aumentada**”. *Livro do Pré-Simpósio: IX Symposium on Virtual and Augmented Reality*, Petrópolis, pp. 2-21.

[Linden Lab, 2009] Linden Lab (2009). “**Second Life**”, *Online: <http://secondlife.com/whatis/>*. Acesso em Julho de 2009.

[Linebarger et al., 2003] Linebarger, J.M.; Janneck, C.D.; Kessler G.D. (2003). “**Shared Simple Virtual Environment: An Object-Oriented Framework for Highly Interactive Group Collaboration**”. *Proc. of the Seventh IEEE International Symposium on Distributed Simulation and Real-Time Applications*, pp. 170-180.

[Lok et al., 2006] Lok, B.; Ferdig, R.E.; Raij, A.; Johnsen, K.; Dickerson, R.; Coutts, J.; Stevens, A.; Lind, D.S. (2006). “**Applying VR in medical communication education**”. *Virtual Reality*, Springer, vol. 10, n. 3-4, pp. 185-195.

[Lombard & Ditton, 1997] Lombard, M.; Ditton, T. (1997). “**At the Heart of It All: The Concept of Presence**”. *Journal of Computer-Mediated Communication*, vol. 3, n. 2.

[Machado, 2003] Machado, L.S. (2003). “**A RV no Modelamento e Simulação de Procedimentos Invasivos em Oncologia Pediátrica: Um estudo de caso no transplante de medula óssea**”. *Tese de Doutorado em Engenharia Elétrica*, USP, São Paulo, 116 pp.

[Machado et al., 2004] Machado, L.S.; Campos, S.F.; Cunha, Í.L.L.; Moraes, R.M. (2004). “**Cybermed: Realidade Virtual para Ensino Médico**”. *Proc. of IFMBE*. vol. 5, pp. 573-576.

[Machado et al., 2006] Machado, L. S. et al. (2006). “**SITEG – Interactive Training System in Gynecological Exam**”. *Proc. of 8th SVR Symposium on Virtual and Augmented Reality*, Belém, pp. 445-456.

[Machado et al., 2007] Machado, L. S.; Pereira, T.A.B.; Costa, T.K.L.; Restivo, M.T.; Moraes, R.M. (2007), “**Improving Interaction in Remote Laboratories Using Haptic Devices**”. *Proc. of REV International Conference*, Porto.

[Machado et al., 2009] Machado, L.S.; Moraes, R.M.; Souza, D.F.L; Souza, L.C.; Cunha, I.L.L. (2009). “**A Framework for Development of Virtual Reality-Based Training Simulators**”. *Studies in Health Technology and Informatics*, IOSPress, vol. 142, pp. 174-176.

[Margery et al., 1999] Margery, D.M.; Arnaldi, B.; Plouzeau, N. (1999). “**A general framework for cooperative manipulation in virtual environments**”. *Proc. of EGVE 99: Eurographics Workshop on Virtual Environments*, Springer, New York, pp. 169-178.

[Montgomery et al., 2002] Montgomery, K. et. al. (2002). “**Spring: A general framework for collaborative, real-time surgical simulation**”, *Proc. of Medicine Meets Virtual Reality*, IOS Press, pp. 23-26.

[Nitzke & Franco, 2002] Nitzke, J.A.; Franco, S.R.K. (2002). “**Aprendizagem cooperativa: utopia ou possibilidade?**”. *Informática na Educação*, Porto Alegre, v. 5, n. 2, pp. 23-30.

[Oliveira et al., 2006] Oliveira, A.C.M.T.G.; Botega, L.C.; Pavarini, L.; Rossatto, D.J.; Nunes, F.L.S.; Bezerra, A. (2006). “**Virtual Reality Framework for Medical Training: Implementation of a deformation class using Java**”. *Proc. of the SIGGRAPH International Conference on Virtual-Reality Continuum and its Applications in Industry (SIGGRAPH '06)*, Hong Kong, ACM Press, New York, pp. 347-351.

[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 em Ciência da Computação*, Centro Universitário Eurípides de Marília, 137 pp.

[Pausch et al., 1992] Pausch, R.; Crea, T.; Conway, M. (1992). “**A literature survey for virtual environments - Military flight simulator visual systems and simulator sickness**”. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*. vol. 1, n. 3, pp. 344-363.

[Pereira et al., 2008] Pereira, T.A.B.; Sales, B.R.A.; Souza, D.F.L.; Machado, L.S.; Mendes, J.G.M.; Restivo, M.T.; Lopes, A.M.; Moraes, R.M. (2008). “**Laboratórios Remotos com Sistemas Hápticos para Educação à Distância**”. *Proc. X Symposium on Virtual and Augmented Reality (SVR2008)*. João Pessoa, pp. 95-98.

[Pereira, 2008] Pereira, T.A.B. (2008). “**Colaboração em Sistemas de Treinamento Baseado em Realidade Virtual**”, *Relatório de Estágio Supervisionado em Ciência da Computação*, 53 pp.

[Pesce, 1995] Pesce, M. (1995). “**VRML: Browsing and Building Cyberspace**”. New Riders Publishing. Thousand Oaks, EUA.

[Pimentel & Teixeira, 1995] Pimentel, K.; Teixeira, K. (1995). “**Virtual reality – through the new looking glass**”. 2.ed. New York, McGraw-Hill.

[Popovici et al., 2009] Popovici, D.M.; Gerval, J.P.; Hamza-Lup, F.; Querrec, R.; Polceanu, M.; Popovici, N.; Zăgan, R. (2009). “**3D Virtual Spaces Supporting Engineering Learning Activities**”. *International Journal of Computers, Communications & Control*, vol. IV, n. 4, pp. 401-414.

[Rinaldi et al., 2006] Rinaldi, L.C.A.; Kubo, M.M.; Rodello, I.A.; Sementille, A.C.; Tori, R.; Brega, J.R.F. (2006). “**AVs Distribuídos e Compartilhados**”. Em: “**Fundamentos e Tecnologias de Realidade Virtual e Aumentada**”, VIII *Symposium on Virtual Reality (Livro do pré-simpósio)*, cap. 5, pp. 60-78.

[Riva, 2003] Riva, G. (2003). “**Applications of Virtual Environments in Medicine**”. *MIM – Methods of Information in Medicine*, vol. 42, n. 5, pp. 524-534.

[Ruddle et al., 2002a] Ruddle, R.A.; Savage, J.C.D.; Jones, D.M. (2002). “**Implementing flexible rules of interaction for object manipulation in cluttered virtual environments**”. *Proc. of the ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology (VRST'02)*, pp. 89-96.

[Ruddle et al., 2002b] Ruddle, R.A.; Savage, J.C.D.; Jones, D.M. (2002). “**Symmetric and asymmetric action integration during cooperative object manipulation in virtual environments**”. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction*, vol. 9, n. 6, pp. 285-308.

[Ruddle et al., 2003] Ruddle, R.A.; Savage, J.C.D.; Jones, D.M. (2003). “**Levels of Control During a Collaborative Carrying Task**”. *Presence*, vol. 12, n. 2, pp. 140–155.

[Sales et al., 2010] Sales, B.R.A.; Machado, L.S.; Moraes, R.M. (2010). “**Interactive Collaboration for Virtual Reality Systems related to Medical Education and Training**”. *Proc. 6th International Conference on Technology and Medical Sciences (TMSi 2010)*, Porto, pp. 21-23 (No Prelo).

[Sales & Machado, 2009] Sales, B.R.A.; Machado, L.S. (2009). “**Um Estudo sobre a utilização de Sistemas Hápticos em Ambientes Virtuais Colaborativos**”, 6<sup>o</sup> *Workshop de Realidade Virtual e Aumentada (WRVA)*, Santos, CD-ROM.

[Sallnäs et al., 2000] Sallnäs, E.; Rasmussen-Gröhn, K.; Sjöström, C. (2000). “**Supporting Presence in Collaborative Environments by Haptic Force Feedback**”. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction*, vol. 7, n. 4, pp. 461–476.

[Santos et al., 2010] Santos, A.D.; Machado, L.S.; Moraes, R.M.; Gomes, R.G.S. (2010). “**Avaliação Baseada em Lógica Fuzzy para um Framework Voltado à Construção**

**de Simuladores Baseados em RV**", *Proc. Symposium on Virtual Reality (SVR)*, pp. 194-202.

[Santos & Machado, 2009] Santos A.D.; Machado L.S. (2009). "**RV Aplicada ao Ensino de Medicina: Taxonomia, Desafios e Resultados**". Em: Anais do Workshop de RVA, Santos-SP.

[Sensable, 2009] SensAble Technologies. "**Software and devices that add the sense of touch to the digital world**". Online: <http://www.sensable.com/>. Acesso em novembro de 2009.

[Sensable, 2010] "**Specifications for the PHANTOM Desktop and PHANTOM Omni haptic devices**". Disponível online em: [http://www.sensegraphics.com/datasheet/PDesktop\\_POmni\\_Specifications.pdf](http://www.sensegraphics.com/datasheet/PDesktop_POmni_Specifications.pdf)

[Sewell et al., 2007] Sewell, C.; Blevins, N.H.; Peddamatham, S.; Tan, H.Z.; Morris, D.; Salisbury, K. (2007). "**The Effect of Virtual Haptic Training on Real Surgical Drilling Proficiency**". *Proc. Second Joint EuroHaptics Conference and Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems*, pp. 601-603.

[Shreiner et al., 2005] Shreiner, D.; Woo, M.; Neider, J.; Davis, T. (2005). "**OpenGL Programming Guid (Red Book)**". Boston, Addison Wesley.

[Souza et al., 2007] Souza, D.F.L; Cunha, I.L.L.; Souza, L.C.; Moraes, R.M.; Machado, L.S. (2007). "**Development of a VR Simulator for Medical Training Using Free Tools: A Case Study**". *Proc. Symposium on Virtual and Augmented Reality*, pp.100-105.

[Tanenbaum, 2003] Tanenbaum, A. S. (2003). "**Redes de Computadores**". Editora Campus, 4ª ed. 2003.

[Wootton, 1999] Wootton, R. (1999). "**Telemedicine: an introduction**". *European Telemedicine*, Londres: Kensington Publications Ltd., pp. 10-12.

[Wright et al, 2005] Wright, M.C.; Taekman, J.M.; Barber, L.; Hobbs, G.; Newman, M.F.; Stanford-Smith, M. (2005). "**The use of high fidelity human simulation as an evaluative tool in the development of clinical research protocols and procedures**". *Contemporary Clinical Trials*, vol. 26, n. 6, pp. 646–59.

[You et al., 2007] You, Y.; Sung, M.Y.; Jun, K. (2007). "**An Integrated Haptic Data Transmission in Haptic Collaborative Virtual Environments**". *6th IEEE/ACIS International Conference on Computer and Information Science (ICIS 2007)*, pp. 834-839.

[Youngblut, 1998] Youngblut, C. (1998). "**Educational Uses of Virtual Reality Technology**". Technical Report IDA Document D-2128, Institute for Defense Analyses, Alexandria, 130 pp.