



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA NATUREZA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MODELOS DE DECISÃO E SAÚDE

**UM AMBIENTE VIRTUAL COLABORATIVO
PARA A EDUCAÇÃO DE EQUIPES CIRÚRGICAS**

Paulo Vinícius de Farias Paiva

João Pessoa-PB
2014

PAULO VINÍCIUS DE FARIAS PAIVA

**UM AMBIENTE VIRTUAL COLABORATIVO
PARA A EDUCAÇÃO DE EQUIPES CIRÚRGICAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Modelos de Decisão e Saúde – Nível Mestrado do Centro de Ciências Exatas e da Natureza da Universidade Federal da Paraíba, como requisito regulamentar para obtenção do título de Mestre.

Linha de Pesquisa: Modelos de Decisão

Orientadores:

Profa. Dra. Liliane dos Santos Machado

Profa. Dra. Ana Maria Gondim Valença

**João Pessoa
2014**

P149u Paiva, Paulo Vinícius de Farias.

Um ambiente virtual colaborativo para a educação de equipes cirúrgicas / Paulo Vinícius de Farias Paiva.- João Pessoa, 2014.

102f. : il.

Orientadoras: Liliane dos Santos Machado e Ana Maria Gondim Valença

Dissertação (Mestrado) – UFPB/CCEN

1. Saúde – modelos de decisão. 2. Ambientes virtuais colaborativos. 3. Educação cirúrgica. 4. Avaliação de equipes. 5. Realidade virtual.

UFPB/BC

CDU: 614(043)

PAULO VINÍCIUS DE FARIAS PAIVA

**UM AMBIENTE VIRTUAL COLABORATIVO
PARA A EDUCAÇÃO DE EQUIPES CIRÚRGICAS**

João Pessoa, 23 de abril de 2014

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Liliane dos Santos Machado
Orientadora (UFPB)

Profa. Dra. Ana Maria Gondim Valença
Orientadora (UFPB)

Profa. Dra. Caliandra Maria Bezerra Luna Lima
Membro Interno (UFPB)

Prof. Dr. Rodrigo Pinheiro de Toledo Vianna
Membro Interno (UFPB)

Prof. Dr. Jauvane Cavalcante de Oliveira
Membro Externo (LNCC-RJ)

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao bom Deus de todas as horas, e a todas as pessoas que de algum modo me auxiliaram no meu desenvolvimento pessoal e profissional, incluindo os queridos e bem amados familiares e amigos, aos colegas de pesquisa junto aos laboratórios LabTEVE e LEAPIG. Agradeço às orientadoras Liliane dos Santos Machado e Ana Maria Gondim Valença que tanto me auxiliaram para a concretização deste trabalho. Agradeço também ao cirurgião Olavo Houston, ao anestesista Teodoro Baggio e ao professor Ronei Marcos de Moraes, pelas orientações dadas ao longo do projeto.

"Pedi, e dar-se-vos-á; buscai e achareis;
batei e abrir-se-vos-á" (Matheus, 7:7-8)

RESUMO

A Realidade Virtual (RV) pode ser compreendida como uma interface avançada humano-computador que promove uma experiência realista aos seus usuários ao interagirem com Ambientes Virtuais (AVs) 3D. Ao longo dos últimos anos, a medicina tem se beneficiado com o advento da RV, particularmente no contexto de treinamento e avaliação de diversos procedimentos. No entanto, observa-se que muitos simuladores levam em consideração apenas os aspectos técnicos individuais, sendo desconsideradas as habilidades de interação e avaliação dos procedimentos realizados colaborativamente, como é o caso dos procedimentos cirúrgicos. Este trabalho se desenvolveu segundo uma metodologia bem sistematizada, englobando as seguintes etapas: a) Levantamento e análise de sistemas de RV com o enfoque no treinamento e avaliação em saúde; b) Planejamento de um AVC voltado para o treinamento e avaliação de estudantes em procedimentos cirúrgicos. Nesta etapa, foram contactados profissionais da saúde (cirurgiões, odontólogos, anestesistas), acompanhados procedimentos cirúrgicos *in loco*, e consultados guias de referências cirúrgico, a fim de serem bem definidos todos os requisitos do simulador (público-alvo, objetivos, conteúdos abordados, métricas de avaliação, dentre outros). Após definição de todos os requisitos, foi desenvolvido o Simulador Colaborativo para Educação Cirúrgica (*SimCEC*). O sistema é resultado dos estudos realizados sobre o uso dos ambientes virtuais de RV na educação e da possibilidade de integração dos métodos de decisão como ferramentas de avaliação dos usuários. O *SimCEC* possui acoplado um sistema de avaliação que se baseia na computação de escores, levando-se em consideração as métricas de avaliação, os possíveis erros cometidos, bem como os pesos de cada procedimento simulado. Finalmente, pretende-se que o simulador possa ser utilizado em momentos específicos da grade curricular de cursos superiores (em nível de graduação), como ferramenta auxiliar no processo de ensino-aprendizagem dos futuros profissionais. Nesta perspectiva, grupos de estudantes poderão se encontrar no espaço virtual e contribuir para a distância com o aprendizado colaborativo.

Palavras-chave: Ambientes Virtuais Colaborativos. Educação. Avaliação de Equipes. Realidade Virtual.

ABSTRACT

Virtual Reality (VR) can be understood as a human-computer interface which promotes a realistic experience for users when interacting with tridimensional virtual environments (VEs). Over the last years, medicine has benefited from the advent of VR, particularly in training and assessment context of several procedures. However, it is observed that many simulators take into account only the individual and technical aspects, while the abilities of interaction and assessment of the collaborative procedures are often disregarded, such as surgical procedures. This study was developed according to a well systematized methodology, including the following steps: a) Survey and analysis of VR systems focused on training and assessment in health sciences; b) Planning a CVE designed for training and assessment of students during surgical procedures. In this step, some professionals (surgeons, dentists, anesthesiologists) were contacted, some surgeries were observed and references guides were consulted in order to define all requirements of the simulator (target audience, goals, covered content, evaluation metrics, among others). After defining all requirements, a Collaborative Simulator for Surgical Education (SimCEC) was developed. The system is the result of studies on the use of VEs in education and the possibility of integration of decision methods as tools for users' evaluation. The SimCEC has an evaluation system attached to it which is based on computed score and takes into consideration evaluation metrics, possible errors made as well as the weight of each simulated procedure. Lastly, it is intended that SimCEC can be used at specific times during the curricular content of higher education courses (at undergraduate level), as a tool to assist the teaching-learning process of future professionals. In this perspective, groups of students can train together in virtual space and contribute to the collaborative learning at a distance.

Keywords: Collaborative Virtual Environments, Team assessment, Virtual Reality, Education.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01 -	Dispositivos de Interação de RV: a) luvas de dados; b) dispositivo de rastreamento de movimento; c-d) dispositivos hápticos; e) capacete de visualização.....	25
Figura 02 -	Interface gráfica do ambiente virtual colaborativo Virtual ED I (Emergency Department) e sistema de comunicação via áudio entre os participantes (HEINRICHS et. al., 2008), pg 3-4.....	39
Figura 03 -	Simulador para cirurgia de lesão ortopédica (CECIL, J. et. al. 2013).....	40
Figura 04 -	Ambiente Virtual Pré-, Trans- e Pós-cirúrgico (OPVIR) (REIS et al., 2010), pg 131.....	41
Figura 05 -	ACOnTECe-Cardio: ambiente colaborativo para treinamento em cirurgia cardíaca (ALBERIO; OLIVEIRA, 2006), pg 8.....	41
Figura 06 -	3DiTeams (TAEKMAN et. al, 2008).....	42
Figura 07 -	Simulador para treinamento de Técnica de Emergência Médica (TEM) e em Sala de Emergência, InterD 410 (CHODOS, D. et. al. 2010).....	42
Figura 08 -	Simulador para treinamento em procedimentos do protocolo de "Suporte Avançado de Vida Cardiovascular" (VANKIPURAM, A. et. al., 2013)	43
Figura 09 -	Simulador para intubação traqueal via web (MANI; LI, 2013).....	44
Figura 10 -	Simulador de treinamento em gerenciamento de sangue em cirurgias ortopédicas (QIN et al., 2010).....	44
Figura 11 -	Simulador para treinamento de procedimento de pulção lombar. O sistema de avaliação avalia a movimentação do dispositivo háptico, tempo de execução da tarefa (FÄRBER et al., 2008), pg 3.....	45
Figura 12 -	Simulador LapSim Basic Skills 1.5, usado em testes de avaliação de treinamento baseado em Modelos Ocultos de Markov proposto por Giuseppe et. al. (2006), pg 2. Simulador de laparoscopia (LapVR) com sistema avaliação baseado em Modelo Multivariado Autoregressivo dos movimentos manuais (LOUKAS e GEORGIU, 2011), pg 2.....	46
Figura 13 -	Sistema Interativo de Exame Ginecológico (SITEG) (MACHADO e MORAES, 2010), pg 15.....	47
Figura 14 -	Simulador UVIMO, utiliza um sistema especialista (SE) baseado em lógica fuzzy para simulação das condições vitais de um paciente sofrendo ataque cardíaco (VICIANA-ABAD e REYES-LECUONA, 2005).....	48
Figura 15 -	Protótipo desenvolvido com o framework SCETF para estudo da cognição dos usuários em ambientes virtuais de treinamento cirúrgico (COWAN et. al., 2011).....	49

Figura 16 -	O sistema Pulse !! (MCDONALD; CANNON-BOWERS; BOWERS, 2010).....	49
Figura 17 -	Grupos de aplicações levantadas e suas principais funcionalidades.....	50
Figura 18 -	Imagem registrada em uma das cirurgias de fratura mandibular acompanhadas.....	52
Figura 19 -	Mapa Conceitual desenvolvido para guiar a etapa de levantamento de requisitos do simulador.....	53
Figura 20 -	Casos de fraturas mandibulares simulados: a) fratura simples na região da sínfise, b) fratura complexa na região da sínfise, c) fratura simples na região do corpo mandibular (AO FOUNDATION, 2013).....	56
Figura 21 -	Abordagens cirúrgicas simuladas: a) Submentoniana; b) Intra-oral (AO FOUNDATION, 2013).....	57
Figura 22 -	Fluxo de execução do simulador, contendo todos os procedimentos e as dependências para realização correta do procedimento de incisão.....	62
Figura 23 -	Arquitetura do simulador colaborativo e as relações entre os sistemas de avaliação.....	66
Figura 24 -	Pseudo-código do algoritmo para computação dos escores individuais e da equipe.....	75
Figura 25 -	Estruturas de classes do módulo de avaliação e suas relações.....	77
Figura 26 -	Possíveis estados e transições entre as animações dos personagens virtuais.....	79
Figura 27 -	Exemplo de arquivo .XML utilizado para armazenamento dos relatórios de desempenho.....	79
Figura 28 -	Modelos tridimensionais da mandíbula e do avatar desenvolvidos com o auxílio do software de modelagem e animação Blender.....	80
Figura 29 -	Tela inicial do SimCEC, contendo um menu com as opções disponíveis	82
Figura 30 -	Tela de configurações do SimCEC. Nesta tela, opções de resolução do monitor, troca de câmeras, dentre outras podem ser efetuadas.....	83
Figura 31 -	Tela inicial onde o usuário deve informar dados importantes para o estabelecimento da conexão, tais como o IP do servidor, o nome, a sua função na equipe.....	84
Figura 32 -	Espaço virtual do vestiário onde os membros devem coletar os EPIs.....	85
Figura 33 -	Procedimento de higienização das mãos.....	85
Figura 34 -	Espaço da sala cirúrgica, onde é realizada a última fase da simulação (pré-operatório).....	86
Figura 35 -	Procedimento de escolha dos instrumentais cirúrgicos.....	87
Figura 36 -	Momento em que o membro cirurgião deve observar a radiografia do paciente.....	87
Figura 37 -	Procedimento de incisão, segundo abordagem cirúrgica intra-oral.....	88

Figura 38 -	Procedimento de incisão, segundo abordagem submentoniana.....	88
Figura 39 -	Relatório de desempenho exibido ao término da simulação, contendo todos os escores computados com base no modelo avaliador.....	89
Figura 40 -	Teste de execução do SimCEC: o usuário a esquerda está exercendo o papel do instrumentador e o da direita o anestesista.....	89

LISTA DE QUADROS

Quadro 01 -	Lista de tarefas realizadas colaborativamente.....	60
Quadro 02 -	Grupo dos erros considerados mais graves que são previstos pelo simulador.....	73
Quadro 03 -	Pesos utilizados para computação do escore da equipe.....	74
Quadro 04 -	Pesos utilizados para computação dos escores individuais.....	74

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	16
1.1	MOTIVAÇÃO.....	17
1.2	RELEVÂNCIA.....	19
1.3	OBJETIVOS.....	20
1.4	CONTRIBUIÇÕES.....	21
1.5	TRABALHOS CORRELATOS NA INSTITUIÇÃO.....	21
1.6	ESTRUTURA DO DOCUMENTO.....	22
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	24
2.1	REALIDADE VIRTUAL E SAÚDE.....	24
2.2	AMBIENTES VIRTUAIS COLABORATIVOS (AVCs).....	28
2.2.1	Treinamento de equipes cirúrgicas.....	30
2.3	AVALIAÇÃO DE TREINAMENTO.....	32
2.3.1	Vantagens dos simuladores de RV para o processo de avaliação.....	34
2.3.2	Métodos de decisão para avaliação.....	35
2.4	CONSIDERAÇÕES.....	37
3	TRABALHOS CORRELATOS.....	38
3.1	AMBIENTES VIRTUAIS COLABORATIVOS.....	39
3.2	SIMULADORES COM SUPORTE À AVALIAÇÃO DE TREINAMENTO....	45
3.3	SISTEMAS DE TREINAMENTO EM SAÚDE.....	47
3.4	CONSIDERAÇÕES.....	49
4	UM AVC PARA EDUCAÇÃO DE EQUIPES CIRÚRGICAS.....	51
4.1	LEVANTAMENTO DE REQUISITOS DO SIMULADOR SIMCEC.....	54
4.1.1	Público alvo.....	54
4.1.2	Objetivo.....	54
4.1.3	Etapas cirúrgicas.....	55
4.1.4	Natureza das habilidades avaliadas.....	55
4.1.5	Nível de realismo gráfico.....	55
4.1.6	Definição dos conteúdos abordados.....	56
4.1.7	Definição das tarefas individuais.....	59
4.1.8	Definição das tarefas colaborativas.....	59
4.1.9	Métricas de avaliações individuais.....	60
4.1.10	Métricas de avaliação colaborativa.....	61
4.2	DEFINIÇÃO DO FLUXO DA SIMULAÇÃO.....	61
4.3	ARQUITETURA DO AMBIENTE VIRTUAL COLABORATIVO.....	63

4.3.1	Módulo de avaliação.....	63
4.3.2	Módulo gráfico.....	64
4.3.3	Módulo de comunicação em rede.....	65
4.4	CONSIDERAÇÕES.....	66
5	DESENVOLVIMENTO.....	67
5.1	FERRAMENTAS UTILIZADAS.....	67
5.2	SISTEMAS DE AVALIAÇÃO INDIVIDUAL (SAI) E COLABORATIVO (SAC).....	69
5.2.1	Modelo de decisão para avaliação.....	69
5.2.2	Classes de avaliação.....	76
5.3	QUESTÕES DE IMPLEMENTAÇÃO.....	77
5.4	CONSTRUÇÃO E MODELAGEM DO CENÁRIO.....	80
5.5	CONSIDERAÇÕES.....	81
6	RESULTADOS.....	82
6.1	SIMCEC: SIMULADOR COLABORATIVO PARA EDUCAÇÃO DE EQUIPES CIRÚRGICAS.....	82
6.2	PUBLICAÇÕES.....	90
7	CONCLUSÃO.....	91
7.1	TRABALHOS FUTUROS.....	93
	REFERÊNCIAS.....	94
	Apêndice A - Tabela contendo os escores gerados na simulação de diferentes casos.....	102

LISTA DE SIGLAS

2D	Bidimensional
3D	Tridimensional
AV	Ambiente Virtual
AVC	Ambiente Virtual Colaborativo
EPI	Equipamento de Proteção Individual
RV	Realidade Virtual
SAC	Sistema de Avaliação Colaborativo
SAI	Sistema de Avaliação Individual
SE	Sistema Especialista
IA	Inteligência Artificial
MC	Mapa Conceitual
OMS	Organização Mundial de Saúde

1 INTRODUÇÃO

Com o avanço da computação nas últimas décadas e o desenvolvimento de tecnologias mais eficientes, surgem sistemas cada vez mais complexos e que oferecerem uma ampla gama de aplicações. Deste modo, a computação, quando apoiada por áreas como as engenharias, a matemática, a estatística, dentre outras, possibilita a solução de diversos problemas humanos em um contexto interdisciplinar (PAIVA; MACHADO; VALENÇA, 2013). Surge deste modo, uma sub-área da computação conhecida como a Realidade Virtual (RV). A RV pode ser considerada como um conjunto de técnicas avançadas de interação homem-máquina, que provê simulações de situações reais ou mesmo fictícias, em ambientes gráficos tridimensionais (SINGHAL; ZYDA, 1999). Tais sistemas, também conhecidos como Ambientes Virtuais (AVs) possuem como características: respostas às ações do usuário em tempo real, estímulo da cognição de seus usuários promovendo um sentimento de imersão no espaço virtual, a possibilidade de interações mais intuitivas, dentre outras. Segundo a literatura aponta, a medicina tem se apresentado como uma das áreas mais beneficiadas com o advento da RV (WEI; WEN-QI, 2010). Os simuladores baseados em RV trazem inúmeras vantagens para a área da saúde, tais como a redução de custo na formação de novos profissionais, desenvolvimento de cirurgias remotas e o uso de técnicas de ensino mais interativo como a geração de modelos fisiológicos tridimensionais (3D) de alta resolução (PAIVA; MACHADO; OLIVEIRA, 2012a).

Com o avanço das tecnologias de comunicação em rede e da Internet, o uso dos AVs se estendem e surgem os Ambientes Virtuais Colaborativos (AVCs) que operam por meio de uma rede de computadores e permitem aos seus usuários interagirem uns com os outros em tempo real e à distância, visando a realização de determinadas tarefas em conjunto (BENFORD et al 2001; MONTROYA et al 2011). Uma vantagem dos AVCs para a formação na saúde, por exemplo, é a possibilidade de colaboração entre os estudantes e profissionais (localizados remotamente) que se auxiliam mutuamente a fim de melhorar a qualidade da aprendizagem de procedimentos de saúde realizados por equipes. Outro importante recurso da RV, sobretudo nos AVCs destinados à educação e treinamento, onde se faz imprescindível um *feedback* das ações dos estudantes, é a avaliação de desempenho (SANTOS et al, 2010). Assim, diferentes modelos de suporte à decisão podem ser utilizados no monitoramento das ações de interação comparando-as com padrões considerados ideais e pré-definidos por

especialistas já experientes nos procedimentos simulados (MORAES; MACHADO, 2013). Os métodos de decisão também podem ser aplicados além da avaliação, na simulação de eventos importantes para a lógica de um AV, como por exemplo, na inteligência dos personagens virtuais (MORAIS, 2011). Tais metodologias, nesta perspectiva, constituem a Inteligência Artificial (IA) destes sistemas, sendo um conjunto de técnicas que permitem o desenvolvimento de sistemas computacionais inteligentes, ou seja, que tomam decisões de forma similar ao ser humano (SUEBNUKAN, 2009).

Uma série de estudos revelam que no processo de educação em saúde, em especial na área médica, existem carências no sentido de serem desenvolvidas e avaliadas não apenas as habilidades técnicas individuais, mas também as habilidades interpessoais consideradas de grande importância nos procedimentos realizados por equipes (MARR *et al.*, 2012; PARUSH *et al.*, 2011; ANDREW *et al.*, 2012). Como exemplos de tais habilidades podem ser citadas as capacidades de comunicação, cooperação, liderança, tomada de decisão, vigilância e percepção das tarefas desempenhadas, dentre outras. Segundo Sanfey *et al.* (2011), os profissionais de saúde trabalham em equipes, mas raramente são treinados juntos, de modo a desenvolverem tais habilidades. Segundo a literatura aponta, diversas entidades relacionadas à educação médica nos Estados Unidos estão cada vez mais preocupadas com o incentivo de práticas educativas que envolvam a simulação de equipes em programas de residência (ANDREW *et al.*, 2012; SANFEY *et al.*, 2011; AGGARWAL *et al.*, 2013).

Este trabalho se propõe a discutir o uso dos AVCs como suporte à educação de estudantes em procedimentos de saúde que sejam realizados por equipes, mais particularmente os procedimentos cirúrgicos. Neste sentido, o uso dos métodos de decisão são estudados em conjunto dos AVCs de modo a se promover a avaliação tanto individual, como conjunta da equipe de estudantes à distância. Inicialmente, este trabalho apresenta o estado da arte da RV e a possibilidade da colaboração e avaliação. Em segundo momento, são apresentados os achados de pesquisa e a descrição da metodologia utilizada no desenvolvimento de um AVC envolvendo etapas como o planejamento, levantamento de requisitos, e a definição de um modelo de avaliação colaborativa incorporado ao sistema.

1.1 MOTIVAÇÃO

Baseando-se na literatura, foram observadas algumas carências dos métodos tradicionais de ensino na área da saúde. Segundo Wei e Wen-Qi (2010), 80% dos erros cirúrgicos podem ser atribuídos a erros humanos, o que torna imprescindível o

desenvolvimento de métodos auxiliares de ensino que possibilitem uma aprendizagem mais efetiva. Atualmente, uma série de estudos reconhecem que o processo de educação ainda se concentra apenas no desempenho das habilidades técnicas individuais, excluindo o treinamento de habilidades interpessoais (MARR et al, 2012; LEACH et al, 2009; LAMMERS et al, 2008; ANDREW et al, 2012). Neste sentido, o Conselho de Acreditação para Educação Médica de Pós-Graduação¹, verificando o impacto negativo das deficiências do trabalho em equipe, têm requisitado o domínio de competências interpessoais dos residentes de medicina (LAMMERS et al, 2008). No processo de formação nas universidades, o contato prático dos estudantes é adiado, uma vez que os conteúdos são abordados em aulas teóricas, auxiliadas apenas por imagens, diagramas e manequins (WEI; WEN-QI, 2010). Santos et al (2010b) destacam que existem práticas consideradas desconfortáveis e invasivas como, por exemplo, aquelas realizadas em pacientes dos Hospitais Universitários (HUs), que na condição de "cobaias" sentem-se constrangidos devido aos exames realizados por vários estudantes ao mesmo tempo no mesmo paciente. Outros importantes aspectos a serem considerados, ainda, são as questões éticas envolvidas tal como o uso de animais e cadáveres (VISSER et al, 2011; PAIVA; MACHADO; VALENÇA, 2013).

No contexto da avaliação do conhecimento e habilidades em procedimentos específicos, percebe-se a dificuldade de os estudantes serem avaliados de forma padronizada sob as mesmas condições e atualmente há a ausência de métricas bem definidas para tal finalidade, conforme a literatura nos adverte (SATAVA et al, 2003; WIET et al, 2012). Segundo Viciania-Abad e Reyes-Lecuona (2005), tal necessidade surge também pelo fato de que as condições fisiológicas dos pacientes não se mantêm estáticas ao longo do tempo, durante os treinamentos em residências. O que se observa atualmente é que a relação professor-aluno é caracterizada pela estreita supervisão em uma série de situações, aonde os princípios e os procedimentos são ensinados muitas vezes com base unicamente na interpretação subjetiva e particular do professor a respeito dos padrões atuais da prática em questão (COSMAN et al, 2002). É devido a estes fatos que muitas das práticas em saúde não podem ocorrer indefinida e sistematicamente, sendo os simuladores baseados em RV, uma boa alternativa para a solução de tais limitações visto que trazem a possibilidade de os estudantes repetirem o procedimento incontável número de vezes, até que se sintam

¹ Organização americana responsável pelo credenciamento de cerca de 9.200 programas de educação de residência médica.

devidamente capacitados em um ambiente sob as mesmas condições (MORAES; MACHADO, 2013).

Como se pode observar, há a necessidade de métodos de ensino alternativos que venham a contribuir para a redução de tais dificuldades, e é neste sentido que a simulação tem sido explorada por diversos estudos como meio alternativo de treinamento de estudantes em saúde (DEV; HEIRICH, 2008; WEI; WEN-QI, 2010). Motivando-se nos fatores apresentados, propomos este estudo sobre os AVCs como ferramenta auxiliar no processo de educação à distância de estudantes da área de saúde.

1.2 RELEVÂNCIA

Nas últimas décadas, pesquisas e aplicações baseadas na RV têm sido desenvolvidas tanto no ramo comercial quanto acadêmico. Nos experimentos realizados por Gallagher et al (1999), por exemplo, foi constatado que cirurgiões treinados em simuladores de RV obtiveram melhores resultados em comparação àqueles treinados pelos métodos tradicionais de ensino. Segundo Moraes e Machado (2013), existem na atualidade, vários estudos que comprovam que o treinamento baseado em VR pode melhorar as habilidades médicas tanto individuais, bem como de equipes (DEV; HEIRICH, 2008; JONES, 2011). A Faculdade Americana de Cirurgiões (*American College of Surgeons - ACS*), desde junho de 2008, estabeleceu como obrigatório o uso de simulação em todos os programas de residência médica cirúrgica, com a finalidade de que os serviços mantenham alta qualidade (REIS et al, 2010).

Simuladores têm sido aclamados pelos seus defensores como uma ferramenta eficiente na garantia de habilidades técnicas, exposição a procedimentos incomuns, e de tomada de decisão em operações complexas. Provavelmente o mais importante é que a simulação também pode aprimorar o trabalho em equipe, comunicação e as habilidades não técnicas. A aplicação desta tecnologia no ensino permite a formação de profissionais mais capacitados, uma vez que a qualidade do treinamento nestes sistemas é frequentemente realista, conferindo assim, maior confiança no desempenho da prática (JONES, 2011).

Pesquisas preliminares que integram ambientes virtuais e comportamentos de liderança sugerem que as características dos AVCs promovem Comunicação, Cooperação e Colaboração, bem como tornam o trabalho mais dinâmico, envolvente e tornam a interação mais efetiva (MONTROYA et al, 2011). Os AVCs contribuem ainda, ao aproximar estudantes com diferentes níveis de conhecimento, para que troquem suas experiências e conhecimentos

em práticas efetuadas virtualmente e à distância. Em pesquisa conduzida por Moraes e Machado (2011), apenas uma metodologia de decisão havia sido encontrada na literatura. Ela era voltada para o monitoramento e avaliação de um grupo de usuários em ambientes de treinamento baseados na RV. Segundo Marr et al (2012), embora reconhecidas as necessidades da educação em saúde pela literatura, poucos estudos se propõem ao desenvolvimento de tecnologias que permitam o treinamento de equipes.

De acordo com Wiet et al (2012), um exemplo de necessidade latente de novos mecanismos para o ensino na saúde, é a aquisição de proficiência no caso particular de cirurgia do osso temporal, sendo necessário que o estudante tenha muito tempo de treino de técnicas microcirúrgicas refinadas, e uma experiência clínica considerável. Segundo o mesmo autor, o treino cirúrgico nos últimos cinco anos, utilizam métodos de treinamento que custam aproximadamente U\$ 80,000 por residente por ano nos Estados Unidos. Os laboratórios convencionais que são devidamente equipados custam mais de 1 milhão de dólares para serem construídos e conservados (WIET et al, 2012). Segundo Heinrichs et al (2008), o treinamento em ambientes de simulação computacionais exige novas ferramentas de avaliação para medir o desempenho das ações individuais e da equipe. Satava et al (2003) apontam que várias especialidades sofrem de falta de avaliação para habilidades cirúrgicas. Neste sentido, as métricas de proficiência devem ser bem definidas e convertidas em sistemas automatizados para avaliação quantitativa. Diante das condições expostas, pode-se observar o quão necessário é o estudo e desenvolvimento de ambientes virtuais voltados ao treinamento e avaliação em procedimentos em saúde.

1.3 OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo principal discutir o uso dos AVCs e dos métodos de decisão como suporte ao processo de educação e avaliação de estudantes de saúde (níveis de graduação e técnico) em procedimentos realizados por equipes, em especial os procedimentos cirúrgicos. Nesta perspectiva, alguns objetivos específicos foram delineados durante a concepção do projeto, sendo estes:

- Realizar um levantamento de aplicações computacionais, especialmente de RV, voltados para a educação em saúde e investigar as suas características.

- Definir o conteúdo abordado pelo AVC e realizar um levantamento de todos os requisitos.
- Acompanhar, em pesquisa de campo, operações cirúrgicas e realizar o contato com os profissionais de modo a ser investigado de forma mais próxima o universo cirúrgico.
- Desenvolver um AVC como suporte à educação de estudantes em procedimentos cirúrgicos.
- Definir um modelo de avaliação para ser incorporado ao AVC desenvolvido.

1.4 CONTRIBUIÇÕES

A principal contribuição deste trabalho é o desenvolvimento de um Ambiente Virtual Colaborativo que poderá ser utilizado como ferramenta auxiliar no processo de educação de estudantes da área de saúde. Destacamos ainda como contribuições do presente trabalho, a definição de um modelo de avaliação colaborativa, bem como a elaboração do planejamento e levantamento de requisitos do AVC desenvolvido de forma bem sistematizada, de modo a orientar outros pesquisadores e desenvolvedores como se realizar este processo. O AVC desenvolvido poderá ser utilizado como meio de estudo prático durante disciplinas ministradas em universidades públicas ou privadas, facilitando o processo do estudo prático. Espera-se que os estudantes, por sua vez, sintam-se motivados no estudo com tal recurso devido a sua característica interativa.

1.5 TRABALHOS CORRELATOS NA INSTITUIÇÃO

Este trabalho está inserido no contexto do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia de Medicina Assistida por Computação Científica (INCT-MACC), financiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) desde 2009. O INCT-MACC tem como um dos seus objetivos realizar pesquisa e desenvolvimento em computação científica e suas aplicações na Medicina, em especial na modelagem e simulação computacional dos sistemas fisiológicos que compõe o corpo humano. Este trabalho se insere também no conjunto de atividades realizadas no Laboratório de Tecnologias para o Ensino Virtual e Estatística da Universidade Federal da Paraíba (LabTEVE-UFPB), cujas principais linhas de pesquisas relacionam-se ao desenvolvimento de simulações em RV e de jogos computacionais em auxílio do ensino de diversas áreas da saúde.

Dentre os trabalhos da instituição que estão relacionados com este, pode ser citado o desenvolvimento de um módulo de *software* voltado para o desenvolvimento de AVCs e que foi integrado ao pacote de desenvolvimento CyberMed (SALES, 2010). O trabalho proposto por Santos (2010a) constitui o desenvolvimento de um sistema especialista, baseado em lógica *fuzzy*, para a avaliação em um simulador de RV voltado para o treinamento em exames ginecológicos.

1.6 ESTRUTURA DO DOCUMENTO

Este documento está organizado nos seguintes capítulos:

Capítulo 1: Introdução

Este capítulo introduz o trabalho proposto de forma geral, apontando a sua motivação, relevância, contribuição, objetivos geral e específicos, trabalhos correlatos na instituição.

Capítulo 2: Fundamentação Teórica

Este capítulo visa introduzir os principais conceitos e classificações das áreas de base deste trabalho, com o objetivo de fundamentar os capítulos posteriores.

Capítulo 3: Trabalhos Correlacionados

Neste capítulo, é realizado um levantamento bibliográfico em relação aos conceitos que são importantes no contexto de nosso trabalho, de modo a apresentarmos o estado da arte dos ambientes virtuais de RV com os recursos da colaboração e de avaliação de desempenho do usuário.

Capítulo 4: Um AVC para Educação de Equipes Cirúrgicas

Este capítulo descreve toda a metodologia de pesquisa utilizada no planejamento do AVC. Deste modo, são apresentados todos os aspectos relacionados à definição de conteúdos, levantamento de requisitos, definição da arquitetura do sistema, dentre outros.

Capítulo 5: Desenvolvimento

Neste capítulo são apresentados os aspectos de desenvolvimento do sistema, tais como a modelagem do cenário do AVC, implementação da lógica computacional e apresentação do modelo de avaliação desenvolvido.

Capítulo 6: Resultados

Este capítulo contém os resultados obtidos com o simulador desenvolvido e as publicações, como fruto da pesquisa realizada.

Capítulo 7: Conclusões

Finalmente, este capítulo apresenta as discussões finais a respeito dos resultados alcançados e propostas de trabalhos futuros que poderão ser realizados.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo serão apresentados os principais conceitos e classificações que fundamentam o nosso trabalho, tais como a Realidade Virtual (RV), a colaboração em Ambientes Virtuais Colaborativos (AVCs) e o uso de métodos de decisão para avaliação das interações dos usuários. Deste modo, serão discutidas algumas aplicações destas tecnologias nas áreas da saúde.

2.1 REALIDADE VIRTUAL E SAÚDE

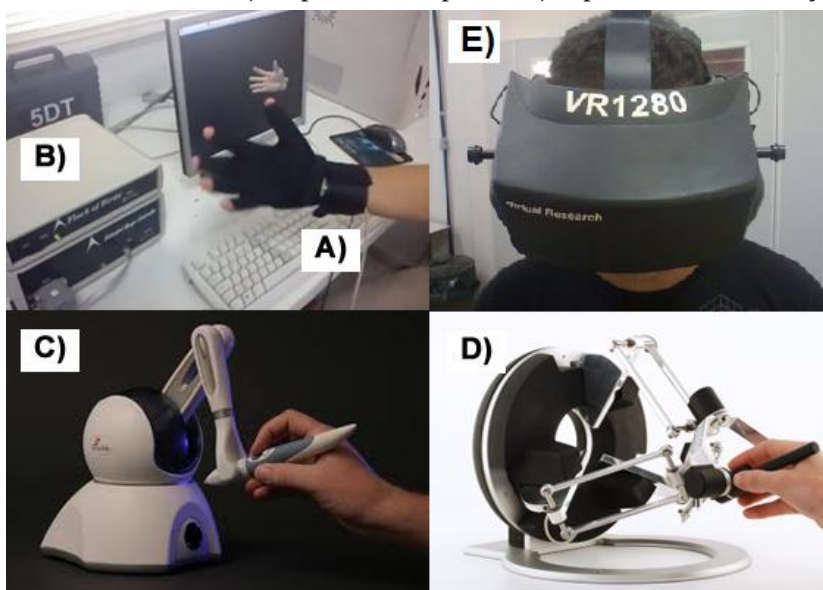
Apesar das características principais da RV serem bem definidas, a definição do que venha a ser de fato a RV varia na literatura de autor para autor. Segundo Kirner e Siscoutto (2007), a Realidade Virtual (RV) pode ser compreendida como uma interface avançada humano-computador que promove uma experiência realista aos seus usuários ao interagirem com ambientes virtuais 3D simulados. Segundo Mikropoulos e Natis (2011), a RV pode ser descrita como um conjunto de tecnologias que suportam o desenvolvimento de ambientes espaciais tridimensionais (3D), gerados computacionalmente, altamente interativos e que visam representar situações reais ou mesmo fictícias. Fitzgerald e Riva (2001) a definem como um mundo, espaço ou ambiente inexistente e virtual, mas que é percebido, através dos sentidos, assim como ocorre no mundo real.

Os sistemas de RV também são conhecidos como Ambientes Virtuais (AVs). Algumas das características comuns aos AVs são: a geração de ambientes gráficos em 3D, exploração dos canais multissensoriais na interação com o usuário, a promoção de uma interação mais intuitiva por meio do uso de tecnologias que promovem manipulações naturais e por fim, as respostas às ações dos usuários em tempo real (MIKROPOULOS; NATIS, 2011). É importante ressaltar que tecnologias como a computação gráfica e a eletrônica são usadas como forma de facilitar a interação do usuário através de estímulos aos canais sensoriais humana: tato, visão, olfato, audição, paladar.

Dispositivos como as luvas de dados, de rastreamento dos movimentos corporais, dispositivos hápticos que possibilitam ao usuário sentir as propriedades materiais (elasticidade, rigidez, maciez etc) de objetos virtuais presentes no AV através do tato, capacetes e óculos para visualização em três dimensões são algumas das possibilidades

oferecidas pela RV na interação do usuário com o AV (Figura 01). Através destes dispositivos, o usuário sente um envolvimento maior com o AV, uma vez que as suas capacidades psicomotoras e cognitivas são estimuladas.

Figura 01 - Dispositivos de Interação de RV: a) luvas de dados; b) dispositivo de rastreamento de movimento; c-d) dispositivos hápticos; e) capacete de visualização



Segundo Kirner e Siscoutto (2007), o uso de representações 3D e dos recursos de interação mais naturais aproximam os sistemas computacionais à realidade do usuário, possibilitando um sentimento maior de presença e imersão do usuário nestas simulações. O conceito de Imersão é frequentemente explorado pela literatura, e pode ser compreendido como a sensação de controle experienciado pelo usuário sobre o seu próprio “avatar”, na interação com os objetos presentes no AV (MONTROYA et al, 2011), compreendendo-se “avatar” como a representação gráfica do usuário no AV. Desta forma, é adequado afirmar que as características principais da RV são: interatividade, imersão e imaginação (WEI; WEN-QI, 2010).

Os AVs foram inicialmente desenvolvidos graças ao financiamento de órgãos militares e do ramo científico que eram automaticamente beneficiados pelos avanços desta tecnologia. Assim, foram criados os primeiros simuladores de treinamento militar, que constituíam simulações de campos de batalha com situações de desafio e inimigos virtuais inteligentes (SINGHAL; ZYDA, 1999).

Como consequência natural de diversos esforços de grupos de pesquisa, a RV também tem dado a sua contribuição, no desenvolvimento dos chamados Simuladores Médicos, que são ambientes virtuais que simulam experiências e situações específicas da área médica ou de áreas afins da saúde, com diferentes propósitos (DEV; HEIRICHS, 2008; PAIVA et al 2012a; WEI; WEN-QI, 2010). Tais Simuladores possuem diversas aplicações como a realização de diagnósticos e cirurgias à distância, e o auxílio à educação e treinamento de estudantes, dentre outras. Uma vantagem oferecida pelos simuladores é a capacidade de interação mais intuitiva devido ao uso dos dispositivos de interação da RV como, por exemplo, os dispositivos hápticos que são importantes, sobretudo, para simulações de procedimentos envolvendo ferramentas como agulhas, bisturis ou mesmo apenas o toque humano (PAIVA et al, 2010).

Os simuladores baseados em RV possuem diversas outras vantagens e produzem certo fascínio não apenas pela expressão realista que o espaço 3D e a sua forma de operação interativa promovem, mas sobretudo, pela possibilidade de se fazer com que as pessoas tenham conhecimento perceptivo e racional de suas experiências de modo a se intensificarem conceitos, produzirem novas concepções, descobrirem e adquirirem novas informações de uma maneira ativa. Segundo Wei e Wen-qi, (2010) a RV possui maior facilidade para tratar problemas em saúde tais como: o ensino e treinamento em cirurgia, realização de diagnósticos, tratamento e testes farmacêuticos, dentre outros. A RV permite que profissionais de saúde observem modelos 3D dos órgãos do corpo humano, aprendendo a lidar com as situações reais que frequentemente ocorrem em operações clínicas, ou mesmo com as situações críticas e inesperadas, de modo a praticarem intervenções no corpo humano virtual que responde a cada uma delas de maneira específica (VICIANA-ABAD; REYES-LECUONA, 2005). Deste modo, vários tipos de aplicações de RV têm sido desenvolvidas, com diferentes enfoques na área da saúde, tais como:

- **Treinamento e educação:** Diversas aplicações voltadas para o ensino e treinamento de habilidades cirúrgicas estão presentes na literatura, tais como simuladores de cirurgias minimamente invasivas de laparoscopia e endoscopia (LOUKAS; GEORGIU, 2011), e cirurgias de catarata (SHEN et al, 2008), escoliose (COTE; BOULAY, 2008) e remoção de vesícula biliar (GUNN et al, 2005). O treinamento em cirurgia virtual apresenta algumas vantagens: baixo custo, ausência de risco para a integridade física de pacientes, a possibilidade dos procedimentos serem repetidos tantas vezes quanto necessários possibilitando uma aprendizagem mais sólida, e o autodirecionamento para que os estudantes possam praticar de forma autônoma,

ajudando-os a melhorarem as suas competências em operações cirúrgicas e de outras práticas, que envolvam a destreza psicomotora.

- **Planejamento de cirurgias:** A RV também pode ser usada no momento pré-operatório do planejamento cirúrgico, de modo que o profissional tenha maior proximidade com o interior do organismo do paciente para identificar os órgãos e regiões afetadas, auxiliando no plano de ação. No planejamento cirúrgico, por exemplo, há a possibilidade de se verificar o posicionamento e o ângulo do instrumento cirúrgico, em situações críticas ao longo do procedimento. Assim, um grupo de cirurgiões pode planejar conjuntamente a melhor intervenção a ser efetuada em momentos específicos da cirurgia (SWELL et al, 2007; REIS et al, 2010).
- **Avaliação neuropsicológica e reabilitação:** A RV também têm trazido benefícios terapêuticos para diferentes doenças mentais e psicológicas. Com a RV, há a possibilidade de geração de ambientes gráficos que simulam situações específicas do mundo real com ótimo nível de realismo. Deste modo, pacientes com processos fóbicos gerados por situações de alto nível de stress, podem ser imersos gradativamente às simulações destas situações de modo que venham a ser tratados e curados de tais enfermidades. Segundo Riva (2003), a RV têm sido utilizada em tratamentos de fobias como: acrofobia, aracnofobia, pânico, distúrbios de imagem corporal, distúrbio compulsivo alimentício, e medo de andar de avião. Com a RV, há também a possibilidade de avaliação para reabilitação das funções de pacientes com lesões cerebrais, resultando em boas propriedades psicométricas (BROEREN et al, 2002).
- **Diagnósticos à distância:** Outra possibilidade destes ambientes virtuais é a realização de diagnóstico auxiliado por ambientes virtuais de RV conectados à Internet, de modo que profissionais de diferentes regiões possam trocar importantes informações visando à obtenção de diagnósticos mais precisos. O trabalho proposto por Dev e Heinrichs (2008) constitui um ambiente virtual aonde o médico dermatologista auxiliado por um dispositivo háptico e um sistema de visualização com monitor de alta resolução, pode interagir com um paciente à distância, que por sua vez é examinado por outro dispositivo háptico que reproduz as ações do médico sobre o seu braço, possibilitando a identificação da textura da pele por meio do tato e da visão e consequentemente a realização de um diagnóstico em dermatologia (DEV; HEINRICHS, 2008).

- **Composição de medicamentos e visualização de estruturas microscópicas:** Deste modo, os estudantes podem observar de maneira mais próxima uma série de eventos antes inexploráveis, tais como a visualização das estruturas corporais internas, o funcionamento de órgãos vitais, simulação do universo microscópico e das reações químicas no organismo humano. Utilizando-se este potencial da RV, algumas aplicações são desenvolvidas no ramo científico no que diz respeito à síntese e testes de novos medicamentos, visualização 3D de moléculas e de estruturas celulares (WEI; WEN-QI, 2010).
- **Simulação de pacientes virtuais:** Os simuladores são uma maneira eficaz para estagiários aprimorarem suas habilidades técnicas antes de iniciarem suas práticas na sala de cirurgia diminuindo, portanto, a curva de aprendizado. Alguns trabalhos estão sendo realizados no tocante à simulação de pacientes virtuais que apresentam determinado quadro clínico para que o estudante possa treinar diagnósticos, intervenções e verificar os efeitos e reações de suas ações no organismo virtual (VICIANA-ABAD; REYES-LECUONA, 2005; WEI; WEN-QI, 2010).

2.2 AMBIENTES VIRTUAIS COLABORATIVOS (AVCS)

Com o desenvolvimento das tecnologias de transmissão de dados, como os diversos protocolos e arquiteturas de rede, os sistemas de RV puderam ser expandidos de modo a possibilitar a comunicação entre seus usuários à distância via Internet. Surgem assim, os Ambientes Virtuais Colaborativos (AVCs) que são sistemas que permitem aos usuários interagirem uns com os outros, em tempo real, visando à realização de determinadas tarefas em conjunto (BENFORD et al, 2001). A colaboração nestes ambientes permite que profissionais de diversas áreas interajam entre si, mesmo que localizados remotamente (PAIVA et al, 2012a).

Os participantes, deste modo, se utilizam de representações gráficas (avatares) para transmitirem sua identidade, presença, localização e atividades para os outros usuários remotos. Os usuários interagem com os conteúdos do AVC e se comunicam uns com os outros também por meio de diferentes meios de comunicação, incluindo áudio, vídeo, gestos gráficos e texto (BENFORD et al, 2001). Portanto, os AVCs baseados em RV tem o potencial de permitir a interação entre os membros de uma equipe de uma forma que mais se aproxima à interação humana natural, devido à convergência de recursos de mídia (MONTROYA et al,

2011). O uso da RV neste escopo foi popularizado e impulsionado em parte pela indústria de jogos computacionais que passaram a investir no desenvolvimento de jogos multijogadores, de modo que estes pudessem interagir entre si. Um conhecido exemplo de tais aplicações é o famoso jogo *Second Life* (MORISSON, 2009).

Várias pesquisas científicas também impulsionaram o desenvolvimento de novas tecnologias de gerenciamento de múltiplos usuários e grande volumes de dados nos chamados ambientes virtuais de larga escala. Desde o início dos primeiros esforços de pesquisa a respeito dos AVCs, diversas aplicações têm sido desenvolvidas neste sentido, tais como: NPSNET, MASSIVE, Bamboo, DIVE, RAVEL e AVOCADO (PINHO et al, 2008; BENFORD et al, 2001). Dentre as inúmeras aplicações do uso de Colaboração nestes ambientes, destacamos a possibilidade de realização de parcerias em projetos e pesquisas científicas, em trabalhos de negócios, no entretenimento, na educação à distância e no *design* colaborativo de produtos. Os AVCs também têm o potencial para apoiar situações *on-line* superlotadas por dezenas ou centenas de participantes que negociam engajamentos sociais específicos de forma dinâmica formando subgrupos. Centros comerciais e shoppings com salas de negócio também são possíveis exemplos. Por fim, os AVCs ainda permitem aos participantes a realização de discussões, manipulação e visualização de objetos virtuais 3D (BENFORD et al, 2001) de maneira conjunta.

Como pode-se observar, o conceito de Colaboração é amplo, e se estende para além das fronteiras da RV. Porém, no caso em específico de nosso trabalho, nos referimos ao conceito de Colaboração unicamente no âmbito dos ambientes virtuais gráficos tridimensionais, baseados em RV. Deste modo, estes AVCs abrem novas perspectivas para a interação em grupo, ao possibilitarem que seus participantes interajam através da simulação de um mundo real ou imaginário (KIRNER; SISCOOTTO, 2007).

Dentre as informações compartilhadas pela rede, estão os dados que descrevem as interações dos vários usuários, como também as propriedades de objetos 3D envolvidos, os eventos gerados pela rede e a manutenção do sincronismo entre as várias cópias dos ambientes distribuídas pela rede (PAIVA et al, 2012a). Deste modo, estas aplicações são consideradas complexas pelo fato de serem ao mesmo tempo: (a) sistemas distribuídos em rede; (b) aplicações gráficas que devem manter taxas de amostragem suficientes para a renderização dos gráficos; e (c) aplicações de múltiplos processos devido à diversidade de recursos computacionais explorados simultaneamente (SINGHAL; ZYDA, 1999). Por fim, é

importante ressaltar que a comunicação em rede destes sistemas deve ser bem administrada e têm influência direta na qualidade da interação colaborativa.

Uma problemática nesses ambientes é a garantia de consistência das informações, ou seja, garantir que todos os usuários participantes da colaboração, estão presentes em um ambiente com as mesmas características independentemente do momento em que a conexão é estabelecida. Deste modo, Sistemas de Gerenciamento de Banco de Dados (SGBDs) podem ser utilizados em paralelo ao AVC de modo que o estado do ambiente seja devidamente armazenado, possibilitando aos usuários interagirem de forma contínua com o ambiente, que passará a existir independentemente de haverem usuários conectados ou não. Existem algumas possibilidades quanto ao armazenamento e distribuição das cópias de um AV por meio da rede, sendo as mais conhecidas a arquitetura distribuída, aonde cópias do AV são distribuídas entre todos os computadores da rede e a arquitetura centralizada, na qual o AV encontra-se armazenado em uma base de dados localizada em um servidor. No primeiro caso, o AV é executado em um conjunto de máquinas, sem memória compartilhada e independentemente das diferentes características de *software* e *hardware* (SINGHAL; ZYDA, 1999).

No que se refere ao estabelecimento da consistência do AVC, Singhal e Zyda (1999) apresentam o mecanismo denominado "replicação ativa". Neste modelo, cada usuário fica responsável por manter uma cópia local do AVC e por replicar as alterações realizadas localmente para os outros participantes remotos. Cada participante, ao receber novas notificações informando que o ambiente foi alterado, deve atualizar o seu ambiente imediatamente garantindo, portanto, o sincronismo e a consistência do ambiente. Devido à característica de resposta em tempo-real dos AVCs, um alto nível de sincronização entre os participantes se faz necessário, a fim de que o aspecto colaborativo não seja comprometido possibilitando assim, que cada um perceba as interações realizadas por todos os outros e no momento exato em que ocorram.

2.2.1 Treinamento de equipes cirúrgicas

Segundo Morrison *et. al.* (2009) o trabalho em equipe pode ser compreendido como um processo no qual os membros da equipe devem interagir a fim de alcançarem cooperativamente os resultados almejados. Deste modo, para ser considerado de fato um membro pertencente a uma equipe, o indivíduo deve ter um conjunto de conhecimentos particulares, habilidades e atitudes esperadas.

De acordo com Aggarwal (2004), a competência cirúrgica geralmente tem se concentrado na aquisição e no domínio específico das habilidades técnicas individuais, desconsiderando as competências interpessoais, tais como a capacidade de comunicação e de tomada de decisão, por exemplo. Neste sentido, durante as práticas de ensino e avaliação nas residências médicas, o desenvolvimento destas competências não técnicas em estagiários é feito de uma forma informal e variável (PALTER; GRANTCHROV, 2010). Importantes circunstâncias têm destacado a necessidade do desenvolvimento de treinamento orientado para equipes como, por exemplo, a falta de uma abordagem sistemática para aprendizagem e a ocorrência de eventos adversos como os erros cirúrgicos (AGGARWAL, 2013).

Segundo Palter e Grantcharov (2010), estudos na literatura demonstram que grande parte de erros cirúrgicos não são causados por fatores técnicos, mas sim devido a rupturas em habilidades interpessoais, que envolvam o trabalho em equipe. Alguns estudos relatam que o papel da comunicação interpessoal entre os membros de uma equipe cirúrgica é fundamental para o sucesso do procedimento (QIN et al, 2010) (MARKS et al, 2008). Deste modo, os cirurgiões devem trabalhar com os outros membros da equipe cirúrgica para que estes compreendam melhor os seus papéis e funções, criando um senso compartilhado de trabalho em equipe aumentando a colaboração. Neste sentido, o sentimento de colaboração pode suavizar alguns dos possíveis atritos naturais em momentos difíceis ou situações inesperadas durante as operações.

Tradicionalmente o treinamento de equipes cirúrgicas é realizado em programas de residência onde os estudantes acompanham e auxiliam cirurgiões experientes durante os procedimentos, em simuladores de RV, ou baseadas em simulações realizadas com o auxílio de manequins de pacientes e em salas cirúrgicas desenvolvidas especialmente para o treinamento. Como exemplo do último caso, Aggarwal (2004) apresenta um projeto de simulação de uma sala de operações, permitindo que o treinamento em equipe possa ser conduzido e avaliado por especialistas situados em uma sala de controle adjacente, possibilitando um *feedback* orientado. Semelhante trabalho é apresentado por Aggarwal et al (2013), sendo apresentada uma enfermaria simulada onde os processos de cuidado perioperatório podem ser realizados com segurança e de forma realista, permitindo a avaliação e treinamento multidisciplinar de plantões completos.

De acordo com Machado (MACHADO; MORAES, 2013), o desenvolvimento de habilidades na área médica está associado aos diferentes estágios do processo de aprendizagem. Deste modo, no âmbito do treinamento baseado em simuladores de RV, alguns estudos apontam a necessidade de ser definido um contexto para o seu uso, baseando-se em

níveis curriculares (SATAVA et al, 20013; PAIVA; MACHADO; VALENÇA, 2013). Observando-se esta fundamental questão, se faz importante a definição da abordagem de atividades e do desempenho esperados pelos usuários. Neste sentido, importantes requisitos curriculares são definidos tais como o nível mínimo de conhecimento esperado dos estudantes e os objetivos que estes devem atingir, a fim de se facilitar o processo de aprendizagem. Além do escopo curricular, também se faz necessário o levantamento dos requisitos relacionados aos conceitos abordados pela simulação e que envolvem o conhecimento especialista do procedimento simulado. Dentre estes requisitos podem ser definidos, por exemplo, as estruturas fisiológicas e os equipamentos envolvidos no procedimento, a configuração da equipe cirúrgica, dentre outros (SATAVA et al, 2003). Portanto, uma vez sendo definidos estes importantes critérios, torna-se mais viável a utilização dos AVCs, de modo efetivo, nos programas de treinamento de equipes em saúde.

2.3 AVALIAÇÃO DE TREINAMENTO

Outra vantagem oferecida pelos ambientes virtuais de RV, na área de educação, é a possibilidade de monitoramento, armazenamento e processamento das interações realizadas pelos estudantes. A partir dos dados coletados é possível a observação, medição e análise mais criteriosa com base em modelos de decisão apropriados com o intuito de se quantificar objetivamente o desempenho e o nível de conhecimento do estudante em relação a determinado procedimento. Deste modo, um sistema de avaliação, com o auxílio de métodos de decisão, deve monitorar as interações do usuário com o simulador de VR e verificar em tempo real o nível de acerto no procedimento realizado, comparando-o com classes de treinamento pré-determinadas por especialistas (MACHADO; MORAES, 2010).

Os métodos utilizados para avaliação do desempenho dos usuários nestes sistemas podem ser classificados como *online e offline* (SANTOS et al, 2010b; MACHADO; MORAES, 2010). No primeiro caso, um sistema de avaliação é acoplado ao simulador de RV de modo que este realiza o monitoramento das ações do usuário oferecendo uma resposta rápida, com tempo imperceptível para o usuário. Deste modo, tal método deve ser eficiente computacionalmente para que a resposta da avaliação seja o mais rápido possível, de modo que o processo de assimilação do conteúdo por parte dos estudantes não seja afetado e para que estes fixem o conhecimento empregado corretamente, bem como possam identificar os erros cometidos (MORAES; MACHADO, 2011a). Para o segundo caso, o sistema de

avaliação deverá armazenar os dados da interação do usuário com o simulador, para apresentar o *feedback* em outro momento, podendo tal sistema de avaliação estar ou não acoplado ao simulador de RV.

Os sistemas de avaliação podem ainda serem classificados quanto o número de usuários a serem avaliados (MACHADO; MORAES, 2007), podendo ser denominados de Sistema de Avaliação Individual, quando apenas se tem a necessidade de avaliar um usuário e o Sistema de Avaliação Múltipla (ou Sistema de Avaliação Colaborativa), para a realização de avaliação de um grupo de usuários. Em relação aos simuladores baseados em RV, a avaliação do treinamento é considerada como uma área de estudo ainda recente (BURDEA; COIFFET, 2003). Os sistemas de avaliação de treinamento em simuladores médicos iniciaram-se no final da década de noventa (SANTOS et al, 2010a). Várias propostas surgiram em relação ao uso de métodos de decisão tais como: Lógica *fuzzy*, Máxima Verossimilhança, Redes *Naive Bayes*, Redes Bayesianas, observação de vídeos e comparações simples. Segundo relatam Moraes e Machado (2011a), os primeiros trabalhos nesta área utilizavam questionários para a avaliação dos usuários em um procedimento de identificação de tumores subcutâneos contendo perguntas relacionadas ao diagnóstico e a dureza dos tumores. Outro trabalho considerado como parte dos precursores nesta área de avaliação em simuladores de medicina é o simulador de exame de próstata com método de avaliação *offline* proposto por Burdea et al (1998).

Wilson et al (1997) criaram um sistema denominado *Minimally Invasive Surgical Trainer-Virtual Reality* (MIST-RV) voltado para o treinamento de cirurgias minimamente invasivas. Tal simulador foi utilizado em testes de desempenho realizados em estudo conduzido por Cosman et al (2002), aonde foram simuladas doze tarefas para o ensino e treinamento de habilidades de manipulação laparoscópica, diatermia, e de recorte. Neste trabalho mais recente, o MIST-VR já dispunha da possibilidade de avaliação *online*, isto é, com *feedback* de avaliação instantâneo. Deste modo, o sistema foi utilizado em um contexto de ensino personalizado com o auxílio de um banco de dados de avaliação chamado *FrameSET* (*Framework* de Simulação, Educação e Treinamento). Assim, para cada tarefa realizada, um banco de dados registrava o desempenho, coletando e armazenando variáveis como o tempo para a conclusão da tarefa, o número e o tipo de erros e a economia de movimento. Mais recentemente, Kumagi (2007) propõe um sistema de avaliação baseado na medição das forças aplicadas em um procedimento de endoscopia, sendo a avaliação realizada de modo *offline* por análise de vídeos.

2.3.1 Vantagens dos simuladores de RV para o processo de avaliação

Os principais usos dos simuladores para a avaliação objetiva da cognição em procedimentos cirúrgicos relacionam-se com a identificação correta das estruturas anatômicas, realização do procedimento na sequência correta de passos, e identificação de erros. Estima-se que um procedimento cirúrgico envolve aproximadamente 75% de habilidade cognitiva e 25% de habilidade técnica (SATAVA et al 2003) sendo, portanto, clara a necessidade de prática e treinamento em ambos os níveis de conhecimento (teórico e prático). Neste sentido, segundo Cosman (2002), os simuladores possuem duas grandes vantagens: a possibilidade de aquisição de habilidades cirúrgicas e a avaliação objetiva do desempenho de treinamento. Deste modo, os simuladores contribuem para o atendimento ao paciente, proporcionando a oportunidade de estudantes praticarem suas habilidades cognitivas e técnicas alcançando proficiência em determinado procedimento mesmo antes de realizá-lo em pacientes reais. A segunda vantagem oferecida pelos simuladores de RV é a habilidade de padronização da avaliação dos estudantes, que podem repetir o treinamento inúmeras vezes, sem medo de cometerem falhas, ou causarem danos aos pacientes, em um ambiente controlado (COSMAN et al, 2002).

Os simuladores permitem ainda o rastreamento de movimentos de instrumentos e movimentos corporais dos usuários, facilitando o processo de avaliação do procedimento. Os dados de desempenho são armazenados para que comparações com movimentos pré-gravados por instrutores experientes possam ser efetuados. Também, há a possibilidade de comparação com o desempenho de outros estudantes, de modo que estes, recebam um *feedback* instantâneo sobre o seu nível de habilidades cognitivas e técnicas. Estas comparações objetivas entre os estudantes são possíveis nos simuladores graças à possibilidade de reprodução e condições imparciais geradas.

Outra questão importante, é que vários tipos de treinamento não podem ser classificados simplesmente como “bom” ou “ruim”, devido à sua complexidade ou devido ao grau de incerteza das variáveis envolvidas (MORAES; MACHADO, 2011a; SANTOS et al, 2010a). Em tais casos, a existência de uma ferramenta de avaliação acoplada a um sistema de simulação de VR é importante para realização da tomada de decisão sobre o sucesso ou falha na transmissão de conhecimento para o aluno (SANTOS et al, 2010b).

Mesmo com todas estas possibilidades oferecidas pelos simuladores de RV, algumas pesquisas mostram que tais sistemas voltados para o treinamento na saúde ainda precisam de

validação e de protocolos padronizados para a definição dos critérios de avaliação (WIET et al, 2012; COSMAN et al, 2002). Assim, importante se faz destacar que o objetivo de tal tecnologia não é a substituição das experiências práticas e compartilhamento de experiências entre os alunos e professores, mas sim auxiliar este processo de ensino e aprendizagem

2.3.2 Métodos de decisão para avaliação

Segundo Machado e Moraes (2010), os métodos de decisão usados para avaliação do treinamento nos sistemas de avaliação acoplados aos simuladores de RV, podem ser caracterizados em quatro grupos principais com base em: medidas descritivas (por exemplo, medidas estatísticas), métodos lógicos, métodos de aprendizado de máquina e métodos mistos (combinação de dois ou mais métodos). Como exemplo, Huang et al (2005) propuseram o uso da lógica *fuzzy* no simulador MIST de forma *Online*, onde o usuário pode ser classificado, de acordo com seu conhecimento, como: novato, intermediário ou avançado. Mackel et al (2006), por sua vez, propuseram um método genérico baseado em Modelos de *Markov* (*Online*) para identificação do nível de habilidade na realização de procedimentos médicos de uma maneira geral. Moraes e Machado propuseram a utilização de vários métodos de avaliação *Online* em simuladores de RV baseados em: Modelos de *Markov* (MORAES; MACHADO, 2003), Máxima Verossimilhança (MORAES; MACHADO, 2005), Redes Bayesianas (MORAES; MACHADO, 2009a), Redes Possibilistas (MORAES; MACHADO, 2011) e lógica *fuzzy* (MORAES; MACHADO, 2009b).

O método de decisão de Máxima Verossimilhança, por exemplo, é frequentemente utilizado na classificação de dados e produz bons resultados, para calibração de bases de dados pequenas. Com este método, é possível determinar a classe mais provável de um vetor de treinamento de dados gerados na interação do estudante com o simulador, por meio de probabilidades condicionais (MORAES; MACHADO, 2005). Uma Rede Bayesiana é, por sua vez, um modelo probabilístico que define um conjunto de distribuições de probabilidades de todas as variáveis envolvidas em um processo complexo e também estabelece as relações entre as mesmas (NEAPOLITAN, 2003; MORAES; MACHADO, 2009a). Formalmente, uma rede Bayesiana é definida como grafos acíclicos dirigidos, denotado por G e uma distribuição de probabilidade denotada por P . O grafo G é um conjunto de nós e arcos orientados, onde os nós representam variáveis e os arcos orientados codificam dependências condicionais entre estas variáveis (NEAPOLITAN, 2003; MORAES; MACHADO, 2009a). As dependências são modeladas por distribuições probabilísticas condicionais. Segundo Moraes e Machado (2011)

para aqueles simuladores baseados em RV que avaliam variáveis quantitativas, os métodos de decisão numéricos baseados em distribuições de probabilidades podem ser mais apropriados.

Dentre os métodos baseados em lógica, encontram-se aqueles que se utilizam da lógica *fuzzy*, também conhecida como Lógica Difusa ou Nebulosa, e possibilita a manipulação de dados com diferentes graus de incerteza através de uma abordagem relativamente simples, com o intuito de auxiliar no processo de decisão (ZADEH, 1965). Deste modo, a lógica *fuzzy* possibilita a tradução de informações vagas e imprecisas, como dados qualitativos, em valores numéricos que em geral são descritas em linguagem natural, e convertidas em regras de fácil manipulação pelo computador, tornando os sistemas computacionais mais aptos a tratar tais dados. Desta forma, a lógica *fuzzy* torna possível a modelagem da experiência humana em controle computadorizado, tornando possíveis decisões em problemas complexos (SANTOS et al, 2010b).

Na concepção da Teoria Clássica dos Conjuntos, por sua vez, observando-se um universo U e um elemento particular $x \in U$, a função de pertinência de um determinado conjunto clássico A contido em U é dado por:

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

Neste sentido, é apenas permitido que um determinado elemento pertença ou não ao um dado conjunto, nunca podendo coexistir junto ao seu elemento oposto, isto é, sistemas de decisão baseados na Lógica Clássica nunca devem concluir "sim" e "não" a partir dos mesmos dados. Tal lógica é desenvolvida computacionalmente com base na Lógica Booleana, a partir da verificação de regras pré-estabelecidas e o raciocínio é definido pelo encadeamento de expressões lógicas que permitem operações de conjuntos entre si.

Neste contexto de modelagem do conhecimento humano, estão inseridos os Sistemas Especialistas (SEs). Os SEs são aqueles sistemas que utilizam o conhecimento de um especialista em um determinado domínio específico, para responder importantes questões e solucionar problemas deste domínio. Deste modo, tais sistemas visam solucionar problemas que normalmente são solucionados por "especialistas" humanos podendo tal representação do conhecimento humano ser codificada e simulada computacionalmente. Como exemplo, um determinado SE poderia modelar o conhecimento de um Odontólogo na realização de procedimentos simples como a extração de dentes podendo o sistema incorporar nuances e

detalhes de tal procedimento realizado pelo especialista humano. Um SE é representado por regras como:

SE <condição > ENTÃO <conclusão>

Nestes sistemas de avaliação, podem ser usados para a modelagem do conhecimento, o uso da lógica clássica ou da lógica *fuzzy*, sendo este codificado em regras. No caso em que as informações obtidas sejam subjetivas, imprecisas ou vagas, estas podem ser bem modeladas por meio da lógica *fuzzy* (MORAES; MACHADO, 2009a) ou de um modelo de decisão híbrido. O uso dos Sistemas Especialistas podem ser uma boa solução para os casos onde as informações disponíveis são caracterizadas como qualitativas (MACHADO; MORAES, 2010; MORAES e MACHADO, 2011a).

2.4 CONSIDERAÇÕES

Este capítulo abordou inicialmente os principais conceitos e definições abordados ao longo deste trabalho, bem como um breve histórico da área da computação denominada Realidade Virtual. Em seguida, foi destacada a utilização de ambientes virtuais de RV em diversos tipos de aplicações na saúde, bem como as principais vantagens que tais sistemas oferecem para as áreas da saúde. Ainda foram discutidos a possibilidade de colaboração entre usuários que interagem nos AVCs com o intuito de atingirem determinadas metas na execução de tarefas, e quais os benefícios do uso do recurso colaborativo nos ambientes virtuais, como é o caso do treinamento de equipes. Finalmente, também foram abordados os conceitos relacionados ao recurso da avaliação da interação dos usuários nos AVs de treinamento e educação, sendo apresentados diferentes métodos de apoio à decisão que geralmente são utilizados na implementação de sistemas de avaliação.

3 TRABALHOS CORRELATOS

Neste capítulo serão apresentadas algumas aplicações presentes na literatura e que se correlacionam com a proposta deste trabalho. O levantamento dos trabalhos foi realizado com o auxílio do portal de busca de periódicos da CAPES² e da ferramenta de busca Google Acadêmico³, com buscas feitas em várias bases de publicações científicas, tais como: *IEEE Xplore*, *Elsevier*, *PubMed*, *SpringerLink*, *Scielo*, *ACM Digital Library*, *CiteSeerX*, dentre outras. As palavras-chave utilizadas nas buscas foram: *Collaborative Virtual Environments*, *Virtual Environments*, *Virtual Reality*, *Surgical Simulation*, *Surgery Training*, *Assessment of Medical Skills*, *Surgery Evaluation*, *Decision Making*, *Team training*.

Buscas em diferentes momentos foram efetuadas com auxílio do recurso do portal de periódicos da CAPES, por diferentes tipos de publicações científicas (capítulos de livros, anais de congressos, artigos, dentre outros) nos últimos 5 anos (2008 - 2012). Ao todo foram encontrados 436 títulos em um primeiro momento (Outubro de 2012) e 769 títulos em segundo momento (Novembro de 2013), dos quais selecionamos 60 trabalhos. Como critérios de escolha dos trabalhos, foram incluídos os estudos que envolvessem o uso da RV ou de outros sistemas computacionais como ferramenta de suporte à educação e treinamento em saúde, que utilizam de métodos de decisão ou não em sua implementação. Os trabalhos escolhidos apresentam variados tipos de estudos, envolvendo o desenvolvimento de aplicações computacionais, discussões sobre métricas de avaliação das práticas em saúde e sobre o treinamento em diversos tipos de procedimentos em saúde. De modo geral, as aplicações encontradas se destinavam ao ensino e treinamento de procedimentos na saúde. As aplicações variaram quanto aos recursos suportados tais como: colaboração, uso de técnicas de RV, métodos de decisão inteligente e avaliação de interação individual e colaborativa.

As aplicações encontradas foram divididas em três grupos, de acordo com os recursos suportados: (1) Ambientes Virtuais Colaborativos; (2) Simuladores com suporte à avaliação do treinamento; (3) Sistemas treinamento em saúde. O primeiro grupo engloba os ambientes virtuais de RV, que disponibilizam o recurso da Colaboração via rede. O segundo grupo, por

² <http://periodicos.capes.gov.br>

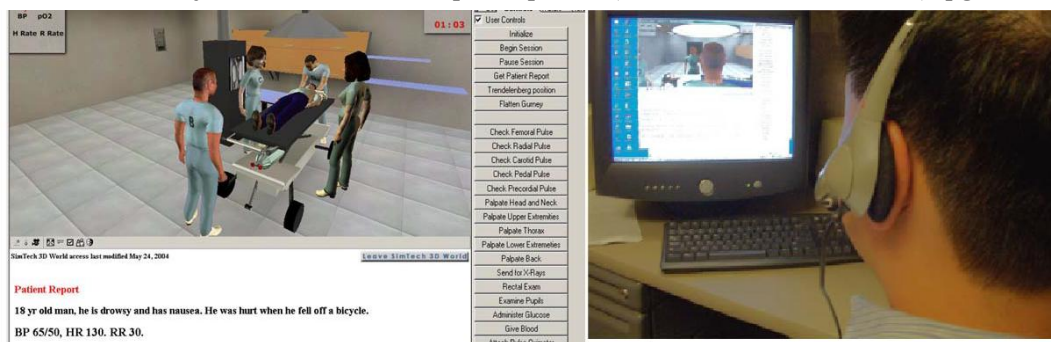
³ <http://scholar.google.com.br/>

sua vez, contém os ambientes virtuais baseados em RV, voltados para educação e treinamento em saúde e que disponibilizam o recurso da avaliação da interação dos usuários. Deste modo, foram encontrados trabalhos que se utilizam de diferentes métodos de decisão para avaliação dos procedimentos simulados. Finalmente, os sistemas de treinamento em saúde não possuem o recurso da RV necessariamente, mas se utilizam de métodos inteligentes de decisão no desenvolvimento de sua lógica computacional.

3.1 AMBIENTES VIRTUAIS COLABORATIVOS

No contexto dos ambientes colaborativos de ensino em saúde, Heinrichs *et al.* (2008) apresentam o ambiente colaborativo *Virtual ED I (Emergency Department)*. O *Virtual ED I* é um ambiente virtual tridimensional (3D) voltado para o treinamento e ensino da medicina. O ambiente simula um ambiente hospitalar com a presença de uma equipe virtual controlada pelos usuários, composta de médicos, enfermeiros e outros técnicos, de modo que estes tomem as melhores decisões sobre o quadro clínico de um paciente virtual. Os usuários interagem com o sistema por meio do *mouse* com uma interface gráfica, que possui menus e *chats*, para a comunicação entre os participantes. O AVC utiliza um sistema de comunicação paralelo aonde os usuários podem conversar sobre as tarefas que estão sendo executadas (Figura 02). No entanto, apesar de o sistema ser um AVC voltado ao treinamento, não há disponível o recurso de avaliação dos membros da equipe, com o auxílio de metodologia para decisão.

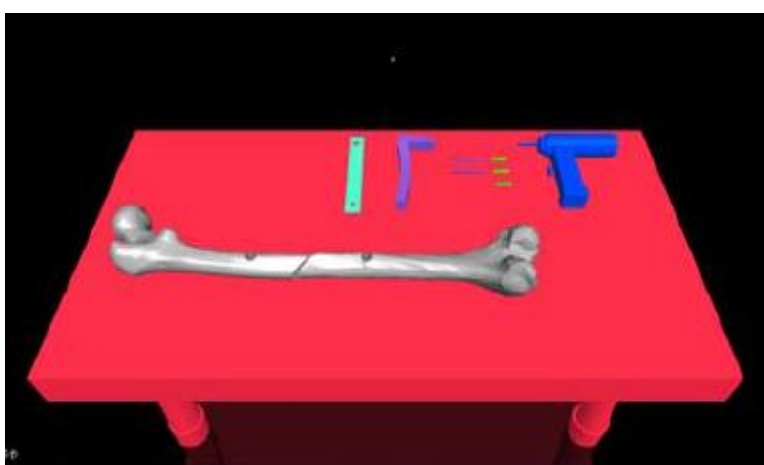
Figura 02 - Interface gráfica do ambiente virtual colaborativo Virtual ED I (Emergency Department) e sistema de comunicação via áudio entre os participantes (HEINRICHS et. al., 2008), pg 3-4



Cecil et al (2013), apresentam o desenvolvimento de dois AVCs para a cirurgia ortopédica, baseados em duas diferentes abordagens de interação, sendo uma tátil (imersivo) (Figura 03) e outra não-imersiva. Os dois AVCs possuem dois módulos específicos e que

possibilitam o treinamento e a avaliação do desempenho dos estudantes no procedimento cirúrgico realizado. O ambiente tátil foi desenvolvido com auxílio das tecnologias C++ e da biblioteca de código aberto *Chai3D*. O ambiente permite que um cirurgião especialista realize o treinamento remoto de médicos residentes. O ambiente não imersivo foi desenvolvido com o auxílio da ferramenta para desenvolvimento de jogos *Unity 3D* e nesta versão, as diferentes etapas do procedimento foram simuladas e o cirurgião pode ensinar ou avaliar os médicos residentes.

Figura 03 - Simulador para cirurgia de lesão ortopédica (CECIL, J. et. al. 2013)



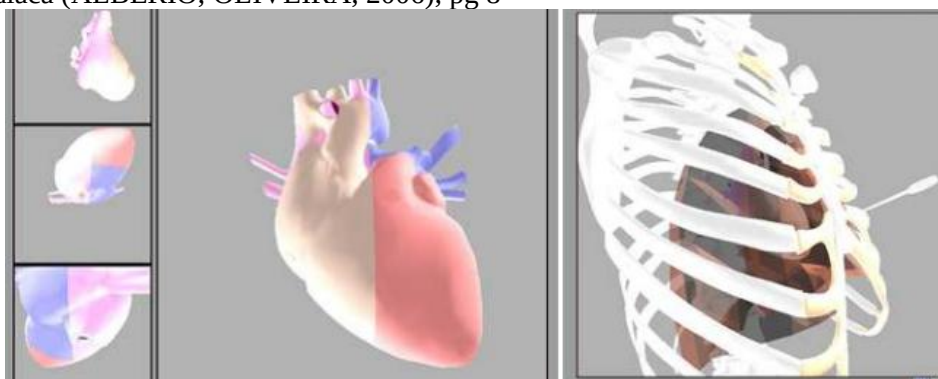
O trabalho proposto por Reis et al (2010), constitui o simulador denominado Ambiente Virtual Pré-, Trans- e Pós-cirúrgico (*OPVIR*) e é voltado para a educação e pré-treinamento dos princípios básicos cirúrgicos em escolas e faculdades de medicina. O sistema possibilita que os alunos realizem uma ampla gama de tarefas, desde a fase de escolha das vestimentas de modo correto, até o posicionamento da equipe cirúrgica em torno da mesa cirúrgica, escolhendo os instrumentos e realizando o preenchimento de um formulário de requisição de patologia (Figura 04). Ao término da simulação o sistema retorna um relatório com as ações corretas e incorretas e o tempo de execução, como avaliação do treinamento.

Figura 04 - Ambiente Virtual Pré-, Trans- e Pós-cirúrgico (OPVIR) (REIS *et al.*, 2010), pg 131



O sistema colaborativo denominado “ACOnTECe-Cardio” é um ambiente colaborativo para treinamento em cirurgia cardíaca e treinamento de transplante de coração (ALBERIO; OLIVEIRA, 2006). Através do simulador, os usuários podem treinar colaborativamente os passos relacionados com o procedimento de cirurgia cardíaca, e também podem apenas acompanhar a simulação, com o intuito de aprendizado. Cada participante da colaboração exerce determinada função no procedimento virtual (Figura 05) e os usuários escolhem as ferramentas cirúrgicas (como bisturi e tesoura) por meio de botões na interface gráfica. O sistema é integrado ao sistema de voz sobre IP *Skype* de modo que os usuários possam se comunicar durante o procedimento. O modelo de comunicação em rede do sistema foi construído baseando-se na implementação do sistema colaborativo COVET.

Figura 05 - ACONTECe-Cardio: ambiente colaborativo para treinamento em cirurgia cardíaca (ALBERIO; OLIVEIRA, 2006), pg 8



No âmbito dos AVCs que tem como foco principal o treino de habilidades não-técnicas destaca-se o *3DiTeams* (Figura 6) que simula uma sala de operações militares. Todos os membros da equipe são representados por "avatares" e podem interagir uns com os outros e com o paciente. A comunicação verbal é possível por meio de microfones e fones de ouvido ou alto-falantes. O simulador foi construído usando a ferramenta de desenvolvimento *Unreal Engine*. O treinamento no simulador *3DiTeams* abrange três fases: (a) aprendizagem

independente; (b) colaboração/coordenação de equipe; (c) revisão das ações (TAEKMAN *et. al*, 2008).

Chodos *et. al.* (2010) apresentam dois AVCs. O primeiro é um cenário para treinamento de Técnica de Emergência Médica (TEM) e em Sala de Emergência, sendo implementados com auxílio do *Second-Life* e têm como objetivo oferecer treinamento processual para alunos de TEM, possibilitando-os melhorarem suas habilidades de comunicação. O segundo estudo de caso é baseado em um sistema chamado *InterD 410*, que é um AV destinado à criação de um programa de instrução para habilidades de comunicação de estudantes de cursos de graduação (Figura 07).

Figura 06 - 3DiTeams (TAEKMAN *et. al*, 2008)



Figura 07 - Simulador para treinamento de Técnica de Emergência Médica (TEM) e em Sala de Emergência, InterD 410 (CHODOS, D. *et. al*. 2010)



O trabalho desenvolvido por Vankipuram, A. *et al* (2013) (Figura 08), apresenta um simulador de RV para treino de equipes em procedimentos do protocolo de Suporte Avançado de Vida Cardiovascular (SAVC). O SAVC é um protocolo que fornece orientações sobre as

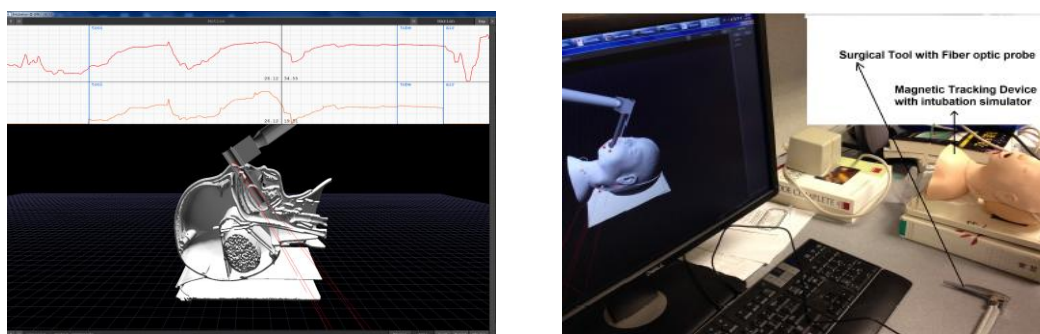
intervenções clínicas que precisam ser fornecidos durante paradas cardíacas e insuficiência respiratória. Neste simulador, um ou mais instrutores podem estar presentes durante o treinamento para observar o desempenho da equipe. Depois de concluir a sessão, os instrutores fornecem uma avaliação do desempenho da equipe através de uma sessão de esclarecimento. É importante destacar que os aspectos da interação entre a equipe não são abordados neste simulador. Os usuários interagem com o ambiente e recebem informações sob a forma de animações e as mensagens. O sistema foi desenvolvido com o suporte da ferramenta de desenvolvimento *Unreal Development Toolkit*.

Figura 08 - Simulador para treinamento em procedimentos do protocolo de "Suporte Avançado de Vida Cardiovascular" (VANKIPURAM, A. et. al., 2013)



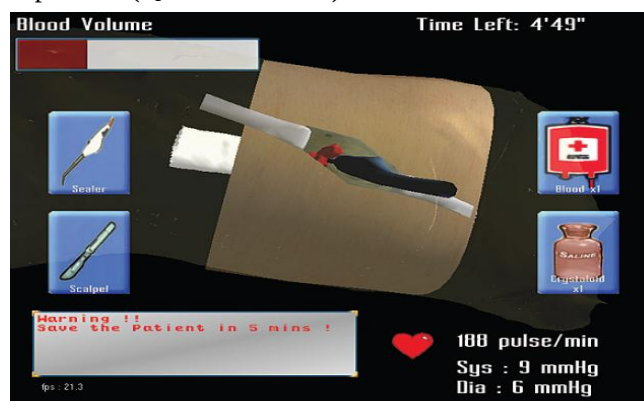
Mani e Li (2013) desenvolvem um ambiente baseado na web interativa 3D e em tempo real que permite que estudantes de medicina comparem os resultados de seus procedimentos cirúrgicos realizados via simulação com cirurgiões experientes, através de um site construído com base nas tecnologias *WebGL* e *X3D*. Neste sentido, é permitido aos estudantes compararem os parâmetros cirúrgicos (ex: ângulo da ferramenta cirúrgica, pressão aplicada com a ferramenta) dos residentes e cirurgiões experientes. Também é possibilitado aos estudantes receberem os comentários de especialistas em tempo real. Como estudo de caso, é apresentado uma simulação em tempo real do procedimento de intubação traqueal utilizando-se do site desenvolvido (Figura 09).

Figura 09 - Simulador para intubação traqueal via web (MANI; LI, 2013)



Outro exemplo de AVC voltado para o treinamento cirúrgico é o jogo proposto por Qin et al (2010) (Figura 10). Em tal sistema, os usuários realizam de forma colaborativa o treinamento de estancamento de sangue durante uma cirurgia ortopédica. Os usuários recebem *feedback* instantâneo das ações corretas ou incorretas por meio de um esquema de pontuação. O jogo se utiliza de recursos tais como: tarefas, tempo, bônus, níveis e ferramentas de avaliação do desempenho do treino. Os níveis de dificuldade variam de acordo com o nível de perda de sangue do paciente virtual. Uma árvore de decisão está implementada como método de tomada de decisão para a lógica computacional do jogo. Deste modo, a árvore de decisão irá avaliar as consequências das decisões do usuário durante a realização do procedimento, sendo avaliadas as seguintes variáveis: tempo de execução, número de bolsas de sangue usadas, ferramentas utilizadas, dentre outras.

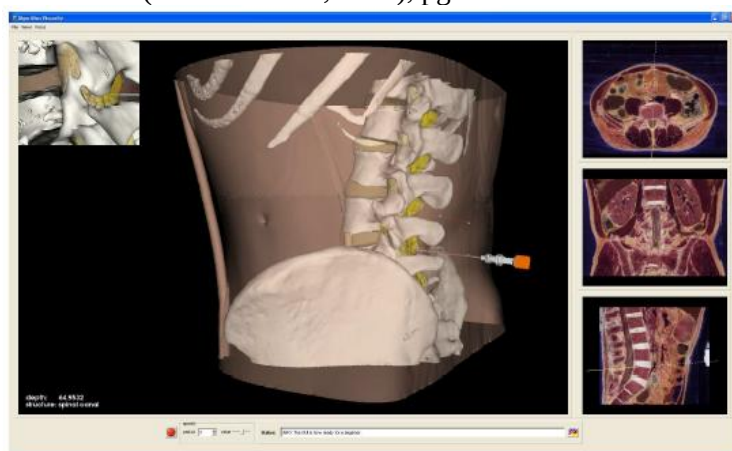
Figura 10 - Simulador de treinamento em gerenciamento de sangue em cirurgias ortopédicas (QIN *et al.*, 2010)



3.2 SIMULADORES COM SUPORTE À AVALIAÇÃO DE TREINAMENTO

Dentre os sistemas com o recurso da avaliação, um simulador para o treinamento do procedimento de punção lombar foi proposto por Färber et al (2008) (Figura 11). Este procedimento é realizado através da inserção de uma agulha para dentro da medula espinhal para que medicamentos sejam injetados ou para a extração de licor. O simulador utiliza o dispositivo háptico para simulação de texturas da fisiologia do paciente uma vez que os médicos conseguem obter as informações sobre a posição da agulha apenas com base na sensação tátil. O sistema possui dois componentes principais: o componente visual (interface gráfica), que representa toda a cena 3D e o de avaliação da interação durante o procedimento. O componente de avaliação utiliza como variáveis: o movimento e a trajetória da agulha, perfuração de estruturas em risco, como ossos ou nervos e o tempo de punção. Finalmente, um escore total é calculado com o intuito de se comparar o sucesso ou fracasso para diferentes usuários.

Figura 11 - Simulador para treinamento de procedimento de punção lombar. O sistema de avaliação avalia a movimentação do dispositivo háptico, tempo de execução da tarefa (FÄRBER et al, 2008), pg 3



Vários trabalhos de simulação do procedimento de cirurgia de laparoscopia foram encontrados dentre os quais destacamos dois deles. Estes AVs, utilizam dispositivos de rastreamento dos movimentos corporais dos usuários para mensurar de forma mais objetiva a destreza do estudante durante o procedimento. O trabalho proposto por Giuseppe et al (2006) apresenta uma abordagem baseada no processamento de dados cinemáticos que descrevem os movimentos dos instrumentos cirúrgicos manuseados. Para a construção deste modelo é utilizada a teoria dos Modelos Ocultos de *Markov*. O modelo é treinado a partir de dados cinemáticos obtidos durante a utilização do simulador *LapSim Basic Skills 1.5*, por cirurgiões

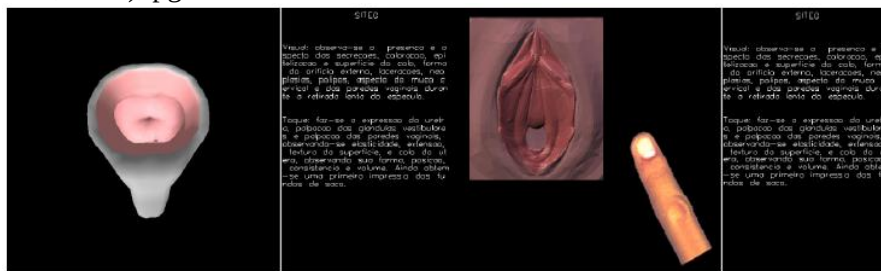
experientes. Um trabalho similar foi proposto por Loukas e Georgiou (2011), onde foi utilizada uma abordagem alternativa de monitoramento dos movimentos manuais baseada em Modelos Multivariadas Auto-regressivos (MAR) (Figura 12). Segundo os autores deste trabalho, após condução de estudos comparativos com diferentes grupos de usuários, o método de avaliação utilizado permitiu a identificação de padrões de movimentos característicos de estudantes de nível intermediário e iniciante.

Figura 12 - Simulador *LapSim Basic Skills 1.5*, usado em testes de avaliação de treinamento baseado em Modelos Ocultos de Markov proposto por Giuseppe et al (2006), pg 2. Simulador de laparoscopia (LapVR) com sistema avaliação baseado em Modelo Multivariado Autoregressivo dos movimentos manuais (LOUKAS e GEORGIOU, 2011), pg 2



Ainda no grupo de simuladores de RV com o recurso da avaliação individual, o simulador para o exame ginecológico (SITEG) proposto por Machado e Moraes (2010), permite o treinamento de exame ginecológico e simula diferentes estágios de patologias como HPV ou Herpes, casos inflamadas bem como casos de normalidade (Figura 13). O simulador contempla as duas fases de um exame real, que são: exame visual e um exame de toque. Na etapa visual, o usuário tem de identificar a coloração do colo do útero de acordo com um diagnóstico de normalidade, Herpes ou HPV inflamadas. Após o exame visual, o usuário terá apenas a vista externa da vagina e deve realizar um exame de toque, com o uso de um dispositivo háptico, para perceber a textura e detectar a ocorrência de caroços ou ferimentos. O SITEG se utiliza de um Sistema Especialista (SE) baseado em lógica *fuzzy* para avaliação do desempenho do treinamento. Todas as informações do treino, incluindo a classe de desempenho dos usuários, são fornecidas ao usuário no relatório de avaliação final.

Figura 13 - Sistema Interativo de Exame Ginecológico (SITEG) (MACHADO e MORAES, 2010), pg 15



3.3 SISTEMAS DE TREINAMENTO EM SAÚDE

Esta sessão engloba aqueles sistemas de RV voltados ao treinamento em saúde, mas que não se enquadraram nos grupos apresentados anteriormente. Na simulação médica, modelos físicos e matemáticos são usados para analisar e simular o comportamento do organismo humano em certas condições, sobre diferentes estímulos. Como possibilidade de uso dos métodos de decisão na modelagem do conhecimento de especialista na área médica, um Sistema Especialista chamado UVIMO (Figura 14) baseado em Lógica *Fuzzy* é proposto em (VICIANA-ABAD; REYES-LECUONA, 2005) onde as condições fisiológicas de um paciente virtual são simuladas. O caso apresentado pelo sistema é o de um paciente diabético virtual sofrendo um ataque cardíaco, visando prover o treinamento para médicos em situações inesperadas, onde suas ações são decisivas para a vida do paciente. Deste modo, o sistema procurou realizar de forma mais precisa a simulação do nível de estresse enfrentado em situações desta natureza e uma série de eventos foram simulados, tais como: erros da enfermeira, mudanças inesperadas no estado do paciente, má operacionalização dos equipamentos e alto índice de barulho ambiente. Na etapa de desenvolvimento, o UVIMO utilizou dos *frameworks* *Sense8*, *CLIPS* e *FuzzyCLIPS* para geração do ambiente gráfico 3D e inclusão do método de lógica *fuzzy*.

Figura 14 - Simulador UVIMO, utiliza um sistema especialista (SE) baseado em lógica *fuzzy* para simulação das condições vitais de um paciente sofrendo ataque cardíaco (VICIANA-ABAD e REYES-LECUONA, 2005)



Com o auxílio do *framework* de desenvolvimento denominado SCETF (*Serious Game Surgical Cognitive Education and Training Framework*) (COWAN et al, 2011), foi desenvolvido um protótipo de AV onde o usuário controla o cirurgião virtual e movimenta-se em primeira pessoa (Figura 15). Neste simulador, a cena gráfica é modelada de forma realista e possibilita também a inclusão de diferentes efeitos de som (reverberação, oclusão e difração do som) e efeitos gráficos (refração da luz e brilho) que são processados em placas gráficas especiais, possibilitando a simulação de efeitos metálicos tão comuns em salas cirúrgicas. Segundo os autores, o *framework* SCETF futuramente disponibilizará o recurso da comunicação em rede, de modo que os usuários possam interagir colaborativamente. Nesta simulação, o usuário deve escolher as ferramentas corretas para cada etapa do procedimento realizado. Finalmente, apresentamos o sistema *Pulse!* (Figura 16) que é um projeto de educação médica virtual desenvolvido na Universidade do Texas A & M (MCDONALD; CANNON-BOWERS; BOWERS, 2010). Neste AV, é simulado uma "Clínica Virtual de Laboratório de Aprendizagem" que é um espaço virtual interativo que simula instalações operacionais, procedimentos e sistemas de saúde. Em relação aos conteúdos abordados, o AV apresenta um diferencial que é a possibilidade de treinamento em procedimentos de bioterrorismo.

Figura 15 - Protótipo desenvolvido com o *framework* SCETF para estudo da cognição dos usuários em ambientes virtuais de treinamento cirúrgico (COWAN et al, 2011)

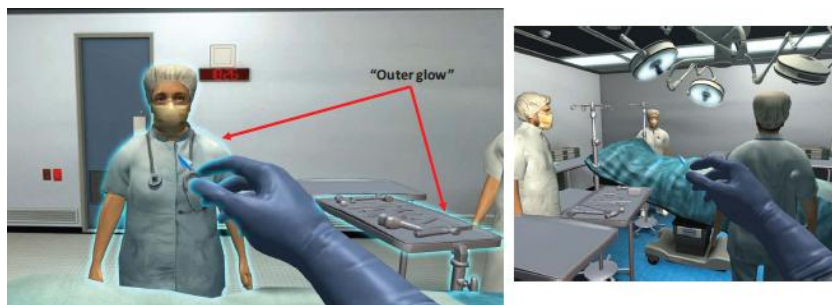


Figura 16 - O sistema *Pulse !!* (MCDONALD; CANNON-BOWERS; BOWERS, 2010)

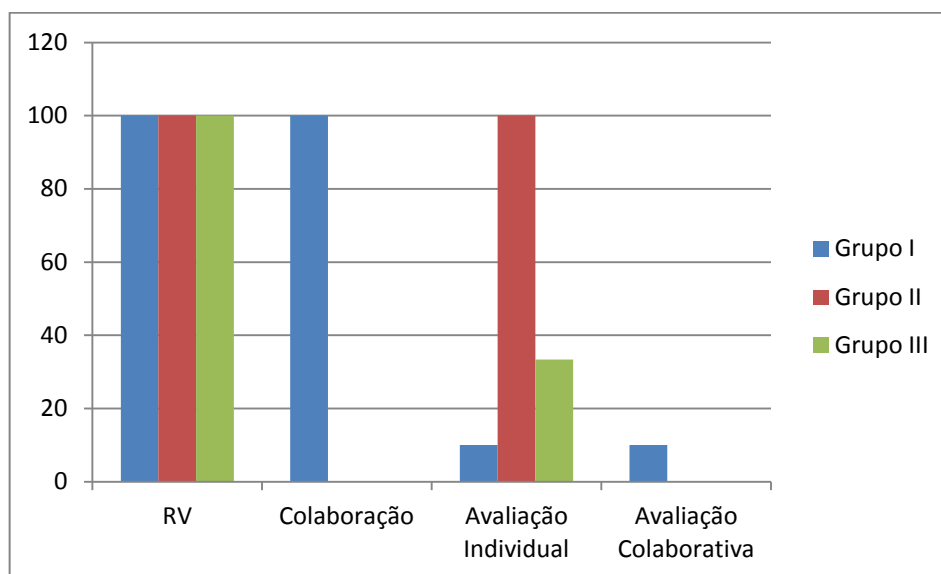


3.4 CONSIDERAÇÕES

Como observa-se, nos últimos anos, diversas pesquisas demonstram o potencial dos sistemas baseados em RV como ferramenta auxiliar no treinamento e educação no campo da saúde. Ao todo, neste capítulo foram levantados 17 sistemas e agrupados em três grupos de acordo com as características mais presentes em cada um deles, sendo estes: os simuladores de RV com suporte à avaliação de treinamento (4), ambientes virtuais colaborativos (10) e demais sistemas de treinamento em saúde (3). Dentre os AVCs apresentados (Grupo I), apenas os sistemas OPVIR, simulador de cirurgia ortopédica (CEICIL et al., 2013) e o *3DiTeams* possibilitam o recurso de avaliação individual do desempenho nos quais é utilizada a lógica clássica, avaliando-se variáveis como o tempo de execução e o número de erros. Em relação aos simuladores com avaliação (Grupo II), todos são baseados em RV e são mono-usuário, isto é, não permitem a colaboração de vários usuários via rede, e consequentemente também não permitem a avaliação das ações de equipes. No entanto, todos permitem a avaliação individual, embora proporcionem esta avaliação baseando-se em diferentes métodos de decisão. A avaliação nestes simuladores é feita tanto por meio de métodos de inteligência artificial mais sofisticados ou com base em esquemas de pontuação e variáveis de interação,

como o tempo de execução ou número de erros. Ainda no âmbito da avaliação de treinamento, foram apresentados também os simuladores de RV que rastreiam os sinais dos movimentos manuais em procedimentos cirúrgicos como, por exemplo, os simuladores de laparoscopia apresentados (LOUKAS; GEORGIOU, 2011). Dentre os demais sistemas de apoio ao treino em saúde (Grupo III), destacamos o sistema UVIMO, mono-usuário e que possui associado um sistema especialista baseado em lógica *fuzzy* que simula os comportamentos fisiológicos de um paciente virtual. Todos os sistemas do último grupo de aplicações não disponibilizam os recursos de avaliação individual e/ou de uma equipe de usuários. Como observado, há uma necessidade existente de pesquisas relacionadas ao uso de AVCs e avaliação de habilidades para o treinamento de equipes de saúde, de modo que o ensino-aprendizagem disponha de métodos de avaliação colaborativa dos procedimentos efetuados. Finalmente, o gráfico presente na figura 17, foi gerado a partir dos requisitos observados em cada uma das aplicações levantadas.

Figura 17 - Grupos de aplicações levantadas e suas principais funcionalidades



Baseando-se nas aplicações encontradas, observou-se que apenas uma mínima parte delas possibilita a avaliação, enfatizando a necessidade que é apontada por diferentes autores (MACHADO; MORAES, 2013; COWAN et al, 2011; PAIVA; MACHADO; VALENÇA, 2013). No que se refere à avaliação colaborativa em AVCs, apenas as metodologias de avaliação colaborativa propostas por Moraes e Machado (2007, 2011, 2012, 2013) e Paiva et al (2013) foram encontradas na literatura. No entanto, é importante enfatizar que estes trabalhos não apresentam ambientes virtuais devidamente desenvolvidos, e sim propostas de diferentes metodologias de avaliação colaborativa nestes ambientes.

4 UM AVC PARA EDUCAÇÃO DE EQUIPES CIRÚRGICAS

Como observado no Capítulo anterior, ao longo dos últimos anos, cada vez mais são desenvolvidos simuladores de RV como suporte tecnológico para o processo de treinamento e educação em saúde. Segundo Machado e Moraes (2013), os simuladores de RV são muito requisitados para educação, mas ainda são desenvolvidos com pouca atenção ao currículo médico. Neste particular, vários autores (SATAVA, 2003; MACHADO; MORAES, 2013; MORRISON; GOLFARB; LANKEN, 2010; VISSER et al, 2011) enfatizam a importância de ser definido um contexto prévio para que os sistemas de RV possam ser inseridos numa abordagem curricular, onde estejam definidos os requisitos fundamentais do sistema, tais como o público-alvo e o momento correto de utilizá-lo. Como consequência natural do descuido em relação à etapa de planejamento, muitos simuladores não incluem a possibilidade de seus usuários serem avaliados por meio de um *feedback* automático, tal como um instrutor o faria presencialmente (PAIVA; MACHADO; VALENÇA, 2013). Portanto, neste capítulo, serão apresentados os aspectos fundamentais relacionados à etapa de planejamento e levantamento de requisitos do *Simulador Colaborativo para Educação Cirúrgica (SimCEC)*. O *SimCEC* permite que um grupo de estudantes se conectem através de uma rede de computadores (ex: Internet) e faça o treinamento colaborativamente, onde cada um dos usuários assume o papel de um membro de uma equipe cirúrgica. Neste sentido, o simulador possibilitará que os estudantes possam interagir entre si e planejar ações, antever diferentes experiências relacionadas ao meio cirúrgico, experimentar diferentes formatações de equipes e verificar os desempenhos alcançados.

Observando as orientações da literatura a respeito do processo de planejamento e desenvolvimento de simuladores de RV aplicados à saúde, Machado e Moraes (2013) apontam importantes requisitos a serem antecipadamente considerados: objetivo, público-alvo, nível de conhecimento esperado dos estudantes, detalhamento das tarefas, definição dos níveis e etapas de cada tarefa, definição de tarefas colaborativas e papéis individuais de cada membro, definição de métricas de avaliação individual e coletiva, dentre outros. O nível de detalhamento gráfico e os possíveis erros (SATAVA; 2003), a presença de uma equipe multidisciplinar, os métodos de avaliação e os recursos tecnológicos necessários, também devem ser considerados (MORAES; MACHADO, 2013).

No que diz respeito à multidisciplinaridade envolvida em projetos de tal natureza, o contato entre os especialistas da saúde e a equipe de desenvolvimento do simulador permite a inserção de conteúdos específicos relacionados à área de modo mais fidedigno no simulador. Inicialmente, durante o processo de aquisição do conhecimentos de tais conteúdos, foi efetuado o contato com profissionais da área cirúrgica, como anestesiistas, cirurgiões, enfermeiros e odontólogos, sendo realizado o acompanhamento de procedimentos cirúrgicos com o objetivo de observação e levantamento de informações (Figura 18). Portanto, a cada acompanhamento, as observações acerca do universo cirúrgico foram gradativamente sendo refinados e definidos os conceitos que seriam abordados pelo simulador. Em paralelo ao contato com os profissionais, também foram consultados uma série de relatórios de orientações e manuais técnicos como, por exemplo, o manual de orientações para cirurgia segura da Organização Mundial de Saúde (WHO, 2009), dentre outros (ANVISA, 2013; WHO, 2013; AO FOUNDATION, 2013; PARRA; SAAD, 1999). Portanto, os conceitos abordados pelo simulador foram baseados em guias de referência já aceitos na área da saúde, de modo que o sistema possa vir a ser utilizado como ferramenta auxiliar em momentos específicos da grade curricular de tais cursos.

Figura 18 - Imagem registrada em uma das cirurgias de fratura mandibular acompanhadas



A princípio, também foi observada a importância de serem organizados de forma estruturada todos os conhecimentos necessários e que estão envolvidos no projeto do *SimCEC* sendo portanto, elaborado um Mapa Conceitual (MC). Segundo Daley e Torre (2010), os Mapas Conceituais são utilizados dentro do contexto da Teoria da Aprendizagem

Significativa, que foi proposta pelo construtivista David Ausubel, segundo o qual o processo de aprendizagem é considerado mais eficaz em situações onde o aluno pode incorporar novos conteúdos no seu repertório de conceitos e que são previamente dispostos em algumas estruturas cognitivas. O MC elaborado para o projeto do *SimCEC*, permitiu que a equipe multidisciplinar obtivesse uma visão mais ampliada dos problemas envolvidos e suas inter-relações (Figura 19).

Figura 19 - Mapa Conceitual desenvolvido para guiar a etapa de levantamento de requisitos do simulador



4.1 LEVANTAMENTO DE REQUISITOS DO SIMULADOR *SIMCEC*

Como observado anteriormente, o processo de levantamento dos requisitos de um simulador voltado para educação e que disponibilize o recurso de avaliação é de fundamental importância tanto na fase de desenvolvimento, bem como para o futuro uso do simulador como ferramenta de apoio à educação. Dada esta importância, nesta seção serão apresentados todos os requisitos que foram levantados com base nas recomendações presentes na literatura (SATAVA, 2003; MACHADO; MORAES, 2013; MORRISON; GOLFARB; LANKEN, 2010; VISSER et al, 2011; PAIVA; MACHADO; VALENÇA, 2013), sendo pré-definidos: público-alvo, objetivo, etapa-cirúrgica, natureza das habilidades avaliadas, grau de realismo, definição das tarefas individuais e colaborativas, métricas e os conteúdos abordados.

4.1.1 Público-alvo

Este trabalho definiu como público-alvo do simulador os estudantes em nível de graduação e de cursos técnicos de áreas de Enfermagem, Medicina, e particularmente Odontologia. Uma vez que os casos cirúrgicos simulados envolvem conceitos da Cirurgia e Traumatologia Buco-Maxilo-Facial, como será detalhado em tópico a frente, optou-se por se definir como público-alvo prioritário do simulador, os estudantes de Odontologia. Tal fato não inviabiliza a possibilidade de integração de currículos interdisciplinares, fomentando eventualmente a interação entre os estudantes destas diferentes áreas durante o curso.

4.1.2 Objetivo

O objetivo definido para o simulador é auxiliar no processo de educação do público-alvo a respeito dos aspectos básicos presentes nos procedimentos cirúrgicos, mais particularmente na fase de preparação cirúrgica até o início da operação. Deste modo, serão enfatizados pelo simulador os aspectos de interação entre os membros da equipe e o sequenciamento das tarefas desempenhadas.

4.1.3 Etapa cirúrgica

A etapa cirúrgica escolhida para ser simulada foi a fase do pré-operatório (ou preparação cirúrgica) que vai desde a preparação do paciente até o início da operação. Tal fase foi definida uma vez que esta etapa engloba procedimentos que são comuns a outros tipos de cirurgias, possibilitando no futuro a expansão do sistema para simulação de diferentes casos cirúrgicos.

4.1.4 Natureza das habilidades avaliadas

Segundo Satava et al (2003), a avaliação de competência médica pode ser efetuada com diversos enfoques, podendo ser avaliadas: (a) *habilidades cognitivas*: avaliação realizada por questionários de múltipla escolha em cenários clínicos, e tarefas de gerência de problemas de pacientes; (b) *habilidades clínicas*: avaliação do desempenho das decisões dos estudantes durante o exame de pacientes com doenças específicas; (c) *habilidades técnicas*: habilidades que são tradicionalmente adquiridas por ensino do professor, por meio de modelos de simulação de tecido, manequins e simuladores de RV. Assim, pode-se acrescentar ainda, com base em estudos encontrados de áreas da saúde a respeito do treinamento de equipes, a possibilidade de avaliação das *habilidades não-técnicas (ou interpessoais)* (YULE et al, 2006). Portanto, foi definido que o treinamento com o *SimCEC* enfatizará tanto as habilidades técnicas individuais de cada procedimento, como também as habilidades não técnicas que se referem à interação entre os membros da equipe (ex: coordenação de movimentos da equipe no espaço da sala operatória).

4.1.5 Nível de realismo gráfico

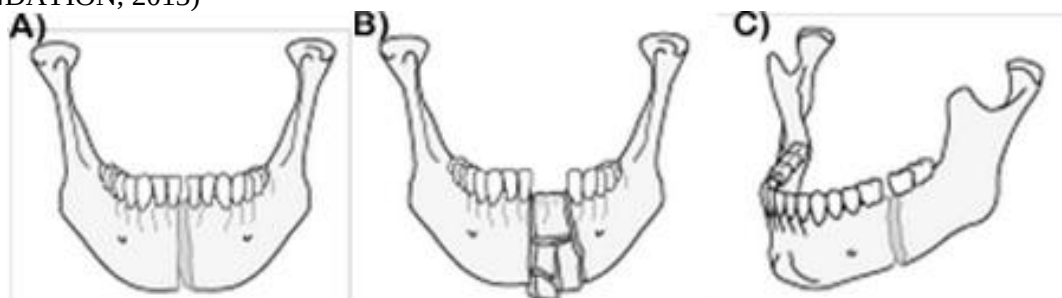
Observando-se os requisitos anteriores, foi estabelecido um nível de detalhamento gráfico regular. Isto significa que o AVC é suficientemente detalhado para que os estudantes reconheçam na simulação, o ambiente de uma sala de operações e os objetos virtuais presentes. O requisito de realismo, geralmente é mais crítico para simuladores em que o foco é o treinamento e desenvolvimento da destreza de habilidades psico-motoras (VISSER et al, 2011).

4.1.6 Definição dos conteúdos abordados

Os conteúdos abordados pelo *SimCEC* englobam procedimentos básicos que são presentes na fase pré-operatória da grande maioria das cirurgias, tais como: biossegurança e controle de infecções pelo uso correto dos Equipamentos de Proteção Individuais (EPIs), procedimento de higienização das mãos, tarefas específicas desempenhadas individualmente, tais como a verificação da radiografia do paciente, escolha dos anestésicos gerais e dos instrumentais, dentre outros. Os conteúdos abordados pelo simulador são detalhados a seguir.

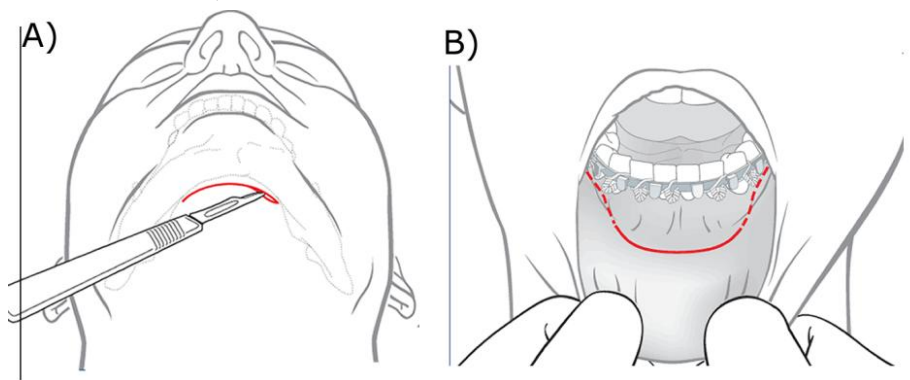
a) *Procedimento Cirúrgico*: Uma vez que o foco do *SimCEC* é o treinamento e educação em aspectos básicos relacionados à fase do pré-operatório cirúrgico até o início da cirurgia, optou-se por serem simulados dois tipos de procedimentos de incisão para redução de fraturas mandibulares. A fratura mandibular é um dos mais frequentes tipos de lesões na região da face, podendo esta ser causada por diversos fatores tais como acidentes com armas, acidentes automobilísticos, agressões físicas, quedas, acidentes na remoção de dentes, dentre outros. Dentre os princípios básicos para o tratamento, destaca-se a redução, a contenção e a imobilização dos segmentos fraturados (GOMES, 2001). Foram definidos três casos cirúrgicos de fraturas mandibulares, de modo que o cirurgião tome as suas decisões baseando-se no caso apresentado no início da simulação, sendo apresentados na figura 20. Tal procedimento foi escolhido pelo fato de as abordagens de tratamento serem relativamente menos complexas do que outros casos cirúrgicos, permitindo o enfoque maior na interação entre os membros da equipe.

Figura 20 - Casos de fraturas mandibulares simulados: a) fratura simples na região da sínfise, b) fratura complexa na região da sínfise, c) fratura simples na região do corpo mandibular (AO FOUNDATION, 2013)



Dentre as tarefas específicas do cirurgião estão a marcação do campo-operatório, a escolha da abordagem cirúrgica, por meio da qual o cirurgião deve decidir qual a melhor forma de se alcançar a região da fratura, e por fim, a incisão. Deste modo, foram definidos dois tipos de abordagem cirúrgica, segundo o guia de referência da Fundação AO de cirurgia (AO Surgery Foundation) (AO FOUNDATION, 2013): a) *Abordagem cirúrgica intraoral* - considerado como o acesso comum para as fraturas simples nas regiões do corpo, da sínfise e angulares; b) *Abordagem submentoniana* - usada no tratamento de fraturas do corpo mandibular anterior e sínfise. A abordagem extraoral submentoniana pode ainda ser utilizada quando existam dificuldades ou gravidades das fraturas e/ou nos casos onde ocorram lacerações na pele. Ambas as abordagens podem ser observadas na figura 21.

Figura 21 - Abordagens cirúrgicas simuladas: a) Submentoniana; b) Intra-oral (AO FOUNDATION, 2013)



b) *Biossegurança*: Nas áreas da saúde, especificamente dentro do ambiente clínico, é conhecida a exposição à uma diversidade de riscos, especialmente os biológicos. Deste modo, a biossegurança é uma importante área que prevê uma série de normas e regras a serem cumpridas pelos profissionais da saúde com o intuito de se manter a integridade da saúde dos pacientes e profissionais durante as práticas realizadas. Rotinas como, por exemplo, a higienização das mãos, desinfecção de equipamentos, o uso correto dos EPIs, dentre outras estão inclusas neste conjunto de práticas. O EPI é qualquer dispositivo ou produto de uso individual utilizado pelo profissional, com o objetivo de protegê-lo contra riscos diversos que venham a ameaçar a sua segurança e saúde no trabalho. Os principais EPIs utilizados nos procedimentos cirúrgicos são a luva, avental, gorro, óculos, calçados e máscaras (WHO, 2013). Outro procedimento extremamente importante neste sentido é a higienização das mãos, sendo também um dos mais simples de ser efetuado para o controle das infecções. Segundo a

Anvisa (ANVISA, 2013), a higienização das mãos tem como finalidades: a remoção de sujidade, suor, oleosidade, células descamativas e microbiota da pele, interrompendo a transmissão de infecções veiculadas por meio do contato; prevenção e redução das infecções causadas pelas transmissões cruzadas. Apesar de a biossegurança não abranger práticas complexas, segundo a literatura há uma carência de conscientização, por parte dos profissionais, em incorporar os protocolos e rotinas previstas (PINELLI et al, 2011; VASCONCELOS et al, 2009; PAIVA; MACHADO; VALENÇA, 2014). Estudos apontam que tal fato muitas vezes ocorre devido a falhas no processo de ensino-aprendizagem de tais profissionais, nos meios acadêmicos ou técnicos, nos cursos de saúde. Portanto, observando-se esta necessidade e dada a importância destes conceitos, foram inseridos procedimentos relacionados a estas práticas no simulador.

c) Preparação Cirúrgica: A etapa de preparação cirúrgica envolve uma série de tarefas que devem ser desempenhadas por cada membro da equipe, sendo em alguns casos necessário uma ordenação pré-determinada. O instrumentador, por exemplo, deve conferir os materiais e equipamentos necessários ao ato cirúrgico, organizá-los sobre a mesa de acordo com a sua utilização e realizar a desinfecção e acomodação ordenada dos instrumentais (PARRA; SAAD, 1999). O procedimento cirúrgico se realiza através de três operações fundamentais: a diérese dos tecidos, a hemostasia dos vasos sangrantes e a síntese que possibilita a cicatrização. Para a execução de cada uma destas etapas, são utilizados diferentes tipos de instrumentos e se faz necessário que o instrumentador tenha organização para permitir que o cirurgião execute o procedimento com precisão e rapidez. A diérese consiste na divisão dos tecidos e possibilita a exposição dos órgãos e estruturas afetadas, utilizando-se bisturis, tesouras e ruginas. A hemostasia, por sua vez, visa estancar, temporária ou definitivamente, o sangramento dos vasos seccionados durante a diérese. Finalmente, a síntese tem por finalidade a reconstituição da integridade das estruturas, órgãos e tecidos que foram operados utilizando-se para isto porta agulhas, pinças anatômicas, agulhas e suturas (PARRA; SAAD, 1999). É importante ressaltar ainda, que uma quarta classe de instrumentais (auxiliares) muitas vezes se faz necessária em procedimentos específicos como é o caso das cirurgias urológicas, cardíacas, torácicas e neurológicas, dentre outras.

Nesta etapa, caso seja utilizado o bisturi elétrico, o instrumentador deve aderir a placa deste equipamento ao paciente. A placa do bisturi elétrico serve como um fio terra, evitando descarga elétrica e queimaduras no paciente. Deste modo, ela deve ser fixada com o auxílio de um gel condutor nas panturrilhas ou região escapular (WHO, 2009). O anestesista, nesta fase, deve organizar previamente todas as seringas contendo as substâncias anestésicas com suas

dosagens necessárias, para que o procedimento de indução anestésica seja otimizado (WHO, 2009). O anestesista deve ainda ligar todos os monitores do paciente, tais como eletrocardiograma, oxímetro de pulso, aplicar o soro fisiológico no paciente. O cirurgião, por sua vez, verifica a radiografia do paciente e realiza o planejamento de intervenção cirúrgica, bem como outras tarefas de preparação do campo operatório (ex: marcação da pele do paciente).

4.1.7 Definição das tarefas individuais

Baseando-se no levantamento dos conteúdos a serem abordados pelo simulador, algumas tarefas que são presentes na etapa de preparação cirúrgica foram definidas para serem simuladas:

- a) Anestesista:* higienização das mãos, escolha dos anestésicos gerais, escolha dos monitores do paciente necessários, posicionamento do travesseiro do paciente, aplicação da anestesia geral, aplicação de anestésico local.
- b) Instrumentador:* higienização das mãos, cobertura da mesa dos instrumentais, escolha e desinfecção dos diferentes tipos de instrumentais (diérese, hemostasia, síntese, auxiliares), colocação da placa do bisturi elétrico em contato com o paciente, verificação do estado do aparelho sugador de fluidos.
- c) Cirurgião:* higienização das mãos, verificação da radiografia do paciente com o caso simulado, escolha da abordagem cirúrgica desejada, preparação e realização da incisão.

4.1.8 Definição das tarefas colaborativas

As tarefas colaborativas nos AVCs podem ocorrer de forma simultânea ou sequencial. No primeiro caso, os usuários remotos atuam sobre as mesmas ou diferentes propriedades dos mesmos objetos virtuais ao mesmo tempo, ao passo que na segunda abordagem, as ações dos usuários ocorrem de maneira sequencial (SINGHAL; ZYDA, 1999; BENFORD, 2001). No *SimCEC*, as atividades colaborativas foram definidas de acordo com a segunda abordagem (Tabela 1). Como exemplo, inicialmente o instrumentador deverá selecionar os instrumentais cirúrgicos necessários previamente para que o cirurgião realize os procedimentos de

preparação do paciente e a incisão. Do mesmo modo, o anestesta deverá selecionar os anestésicos e aplicá-los antes da incisão extra-oral, contendo uma solusão anestésica específica para a contenção de hemorragias e relaxamento da musculatura (AO FOUNDATION, 2013).

Quadro 1 - Lista de tarefas realizadas colaborativamente

Membros envolvidos	Atividades colaborativas (sequenciais)
Cirurgião + Instrumentador	Preparação para incisão: antissepsia do paciente, marcação da pele e colocar o afastador labial no paciente.
Cirurgião + Instrumentador	Incisão intra-oral
Anestesta + Cirurgião + Instrumentador	Incisão externa

4.1.9 Métricas de avaliações individuais

As métricas de avaliação individual são aquelas variáveis consideradas relevantes no processo de avaliação de cada um dos procedimentos realizados individualmente. Para o procedimento de higienização das mãos, por exemplo, foram definidas as seguintes variáveis: tempo de higienização, produto antisséptico utilizado, posicionamento do corpo em relação a pia (se este encontra-se encostado ou não), pontos de fricção nas mãos escolhidos. No caso dos procedimentos de escolha do instrumental cirúrgico e dos anestésicos, as variáveis escolhidas foram: o número de itens selecionados corretamente e o tempo de execução das tarefas. Nas tarefas realizadas pelo cirurgião foram definidas: abordagem cirúrgica escolhida (de acordo com o caso apresentado), a distância da incisão em relação à gengiva (no caso da incisão intra-oral), comprimento da incisão (no caso da incisão submentoniana), região de antissepsia no corpo do paciente e o produto antisséptico escolhido.

Segundo Wiet et al (2012) as formas de avaliação da aprendizagem de estudantes na área da saúde carecem na atualidade de métricas bem definidas que venham a padronizar os mecanismos de avaliação das habilidades em procedimentos específicos. Neste sentido, ao longo do levantamento dos parâmetros de avaliação do *SimCEC*, foi possível constatar tal afirmativa, tendo a equipe multidisciplinar encontrado dificuldades no processo de definição das métricas a serem utilizadas. Como exemplo, segundo o manual de "Orientações sobre

higienização das mãos no cuidado à saúde" da Organização Mundial de Saúde (WHO, 2013), ainda não há um consenso estabelecido sobre o tempo recomendado para a higienização das mãos, sendo este influenciado por uma série de outros fatores. Mesmo assim, ainda hoje, são comuns os protocolos que aconselham uma higienização com duração de 5 minutos (WHO, 2013) ou de 3-5 minutos (ANVISA, 2009). Neste sentido, para todas as variáveis escolhidas, optou-se pela utilização das métricas mais referenciadas para cada procedimento.

4.1.10 Métricas de avaliação colaborativa

As seguintes métricas de avaliação da equipe foram definidas: movimentação no espaço sendo baseada no número de ocorrências de colisões entre os membros e de saídas de seus postos de trabalho, o nível de biossegurança e o tempo de preparação cirúrgica, que vai do início da indução da anestesia geral até a realização da incisão.

4.2 DEFINIÇÃO DO FLUXO DA SIMULAÇÃO

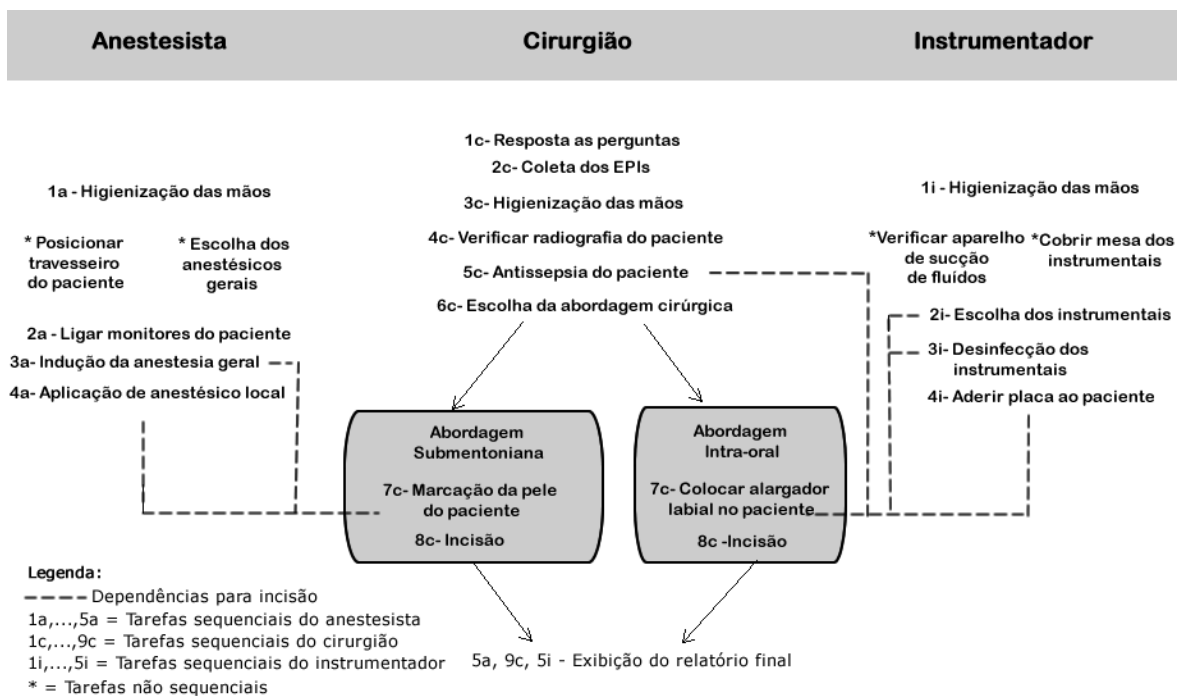
O cenário do simulador é composto por quatro ambientes principais: uma sala de recepção da clínica cirúrgica, o vestiário, o corredor onde estará presente a pia para higienização e finalmente a sala cirúrgica. Após todos os membros se conectarem, inicia-se o primeiro momento da simulação que ocorre na sala de recepção. Neste momento, o membro cirurgião responde algumas questões a respeito de práticas de biossegurança e interage com os demais membros via mensagens instantâneas de texto.

Depois de concluídas as questões, a equipe passa a ter acesso à sala do vestiário, onde toda a equipe deverá coletar os EPIs. Logo após, os membros possuem acesso tanto ao corredor de higienização das mãos, quanto da sala cirúrgica. No entanto, durante esta etapa, o grupo de estudantes deverá estar atento às práticas de controle de infecções para que somente venham a entrar na sala cirúrgica após cumprirem todos os requisitos necessários à manutenção da biossegurança, que são: higienização das mãos e o uso dos EPIs.

Deste modo, o módulo de avaliação do *SimCEC* é responsável, por exemplo, dentre outras funções, por monitorar os casos em que porventura algum membro se esqueça do cumprimento de tais requisitos antes de entrar na sala cirúrgica. Nestes casos, o nível de biossegurança é afetado, influenciando o desempenho da equipe. Uma vez que todos os membros já estejam na sala cirúrgica, inicia-se a etapa mais importante da simulação, que é a

realização dos procedimentos de preparação cirúrgica. Nesta etapa, cada membro da equipe deverá realizar uma lista de tarefas, onde deverão manter especial atenção à ordem de execução das mesmas, bem como às métricas de avaliação envolvidas em cada uma delas. É importante ressaltar que após a conclusão da lista de procedimentos, são exibidos os relatórios de avaliação de desempenho individual e coletivo para cada um dos estudantes, onde são exibidas as informações relevantes para o processo de aprendizagem. A lista dos procedimentos sequenciais de cada membro da equipe, bem como as dependências para realização da incisão, encontra-se disponível na figura 22.

Figura 22 - Fluxo de execução do simulador, contendo todos os procedimentos e as dependências para realização correta do procedimento de incisão



4.3 ARQUITETURA DO AMBIENTE VIRTUAL COLABORATIVO

Inicialmente, é importante que a equipe de desenvolvimento dos simuladores colaborativos leve em consideração algumas dificuldades que são naturalmente enfrentadas durante a etapa de desenvolvimento deste tipo de sistema (MACHADO; MORAES, 2010). Como observado, os requisitos dos AVCs que possuem o recurso da avaliação de equipes cirúrgicas tornam-se diferenciados quando comparados aos demais tipos de simuladores de RV (SANTOS et al, 2010b). O desenvolvimento destes sistemas possuem maior complexidade pelo fato de envolverem diferentes recursos simultaneamente, tais como:

- a) *Computação Distribuída*: Uma vez que os AVCs são sistemas que devem ser compartilhados por meio de uma rede de computadores, tornam-se necessários mecanismos que visem sincronizar as informações compartilhadas entre os usuários conectados (SINGHAL; ZYDA, 1999).
- b) *Ambiente Gráfico*: Sistemas de RV e de computação gráfica em geral, possuem como fundamental requisito, a manutenção da taxa de atualização da cena gráfica em uma frequência aceitável, de modo que o realismo e a interação com o AV não sejam comprometidos (WOO et al, 1999).
- c) *Sistema de Avaliação Colaborativa (SAC)*: Paralelamente à simulação gráfica presente no AVC, este sistema é responsável pela coleta e processamento dos dados de interação do grupo de estudantes, e onde se encontra implementado um modelo de avaliação (MACHADO; MORAES, 2010). Este sistema pode se encontrar tanto de forma distribuída nos computadores dos usuários, bem como estar centralizado em um servidor (PAIVA; MACHADO; VALENÇA, 2013).

Levantados tais requisitos, elaboramos uma arquitetura do sistema que contemplará cada um destes requisitos em módulos específicos, que são: Módulo de Comunicação em Rede, Módulo Gráfico e o Módulo de Avaliação.

4.3.1 Módulo de avaliação

O Módulo de Avaliação contempla tanto o Sistema de Avaliação Colaborativa (SAC), para a avaliação das habilidades de interação dos membros da equipe cirúrgica, como também o Sistema de Avaliação Individual (SAI) para avaliação de cada procedimento realizado

individualmente. Ambos os sistemas ocorrem paralelamente ao AVC, sendo responsáveis pelo processamento dos dados gerados nas interações de todos os usuários, sendo retornado um relatório de desempenho individual (após cada tarefa) e coletivo para cada um deles, ao término da simulação (MACHADO; MORAES, 2013). Nesta perspectiva, vale ressaltar que o mesmo método de decisão pode ser utilizado por ambos sistemas de avaliação, ou mesmo serem definidos diferentes métodos para cada um destes sistemas de avaliação. No caso da avaliação colaborativa, o sincronismo entre os usuários se faz necessário, no sentido de que estes não devam realizar ações incorretas como, por exemplo, selecionarem um mesmo instrumento ou ocuparem o mesmo espaço físico no mesmo instante do procedimento (MACHADO; MORAES, 2007).

Moraes e Machado propõem algumas metodologias de avaliação múltipla de usuários com base nos seguintes métodos de decisão: Sistema Especialista baseado em lógica *fuzzy* (2007), Redes de Possibilidades (2011), *fuzzy naive bayes* (2013). Nestas metodologias propostas, o grupo de usuários interage com o AVC gerando dados que servem como entrada do sistema de avaliação, que por sua vez, analisa e classifica os níveis de conhecimento dos usuários, emitindo relatório sobre o desempenho individual e do grupo. Portanto, o SAC deve ser capaz de monitorar simultaneamente as interações de todos os usuários com o AVC. Como exemplo de informações de interação que geralmente são monitoradas em simuladores de RV e usadas para avaliação, podem ser citadas: posição de objetos virtuais no espaço 3D, forças empregadas, resistência, velocidades, acelerações, temperaturas, ângulo de visualização, sons, dentre outras (MORAES; MACHADO, 2011). Finalmente, o sistema de avaliação utilizado pelo *SimCEC*, será descrito de modo mais detalhado no Capítulo 4.

4.3.2 Módulo gráfico

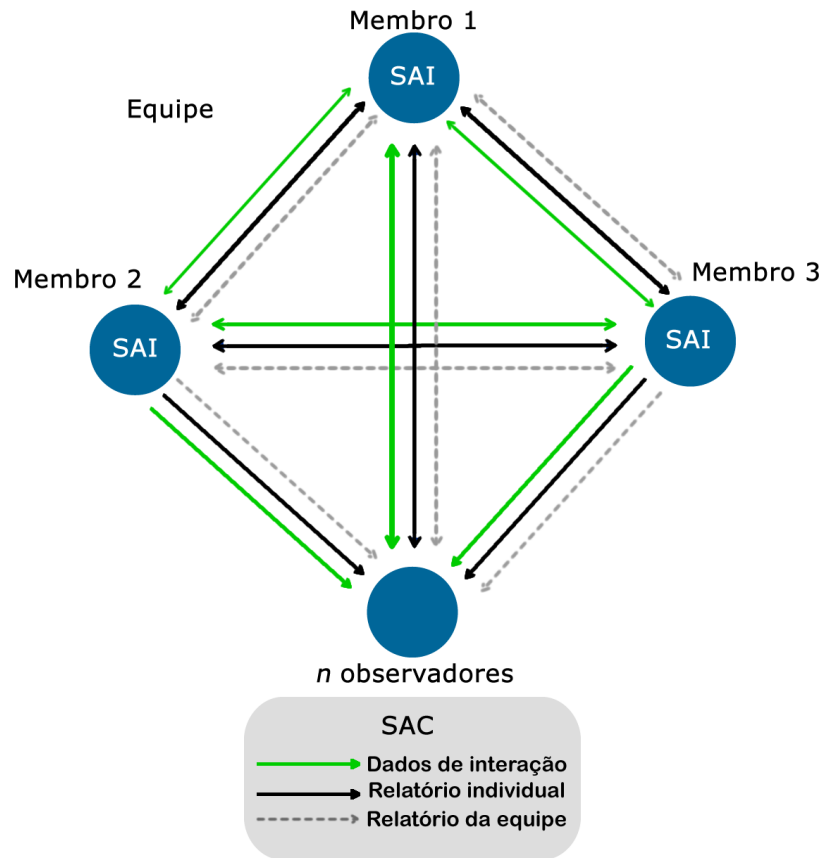
Basicamente, este módulo é o responsável pela geração do ambiente virtual gráfico 3D e processamento das atualizações realizadas ao longo das interações a partir de técnicas de computação gráfica (FOLEY et al, 1990; WOO et al, 1999). Dentre as suas principais funções podem ser citados o carregamento e desenho dos objetos virtuais, detecção de colisões entre os objetos virtuais no espaço, animações dos personagens, efeitos de iluminação, simulação física e geração de partículas, dentre outras. Observando-se importantes questões levantadas pela literatura (PINHO; BOWMAN; FREITAS, 2008) no que diz respeito à sensação de presença e compartilhamento do mesmo espaço em um simulador colaborativo, foi verificada

a necessidade deste módulo monitorar as ações dos usuários e a partir destas, retornar elementos informativos de modo que a equipe pudesse estar sempre orientada em suas tarefas. Neste sentido, o módulo gráfico do AVC realiza o monitoramento de cada ação, gerando os retornos visuais necessários tais como a mudança de cores de objetos e a exibição de mensagens.

4.3.3 Módulo de comunicação em rede

A comunicação entre os participantes de um AVC pode ser realizada com base em diferentes abordagens e protocolos para comunicação de dados via rede. Os protocolos de rede são mecanismos que visam estabelecer uma política de comunicação entre os usuários, e a forma como esta se estabelecerá e ocorrerá ao longo do tempo (FISHER, 2002; TANENBAUM, 2003). Deste modo, se faz necessário a presença de um módulo de gerenciamento de eventos de rede no AVC. Uma vez observada a necessidade de que o esquema de gerenciamento de rede seja simples e eficiente, dado o pequeno número de usuários envolvidos na simulação cirúrgica, foi definida a arquitetura de comunicação em rede ponto-a-ponto. Esta arquitetura pode ser entendida como um modelo de comunicação não hierárquico, no qual cada usuário mantém e atualiza a sua própria cópia local do AVC sendo responsável por divulgar aos outros participantes as suas alterações não havendo, portanto, a necessidade de servidores. Neste sentido, os sistemas de avaliação individual e colaborativo (SAI e SAC) estão embutidos nas cópias locais do AVC, e cada usuário replica as suas novas ações efetuadas localmente para todos os outros usuários remotos. Deste modo, os dados de interação são compartilhados entre os participantes da colaboração via chamadas de procedimento remoto e que são acessadas por meio do SAC, de modo a facilitar a distribuição das alterações no AVC. No momento em que todas as tarefas individuais e colaborativas são encerradas, o SAC é responsável por enviar o relatório colaborativo para toda a equipe, contemplando também os relatórios individuais recebidos. Uma possibilidade oferecida pelo *SimCEC* é que n usuários (além dos membros atuantes na equipe) se conectem ao AVC. Deste modo, torna-se possível que outros estudantes que não estejam exercendo momentaneamente os papéis previstos pelo simulador (instrumentador, anestesista e cirurgião), possam acompanhar a simulação e analisar os desempenhos alcançados. A arquitetura do simulador pode ser visualizada na figura 23.

Figura 23 - Arquitetura do simulador colaborativo e as relações entre os sistemas de avaliação



4.4 CONSIDERAÇÕES

Este capítulo teve como objetivo, apresentar a metodologia de pesquisa utilizada na etapa de planejamento do simulador desenvolvido. Deste modo, inicialmente foi detalhada a etapa de levantamento e definição de todos os requisitos que são fundamentais para a aplicação do simulador numa abordagem curricular. Neste sentido, foi necessário o contato entre profissionais de diferentes áreas de modo a serem definidos os conteúdos especialistas a serem abordados na simulação, bem como as métricas de avaliação. Após a conclusão desta etapa, uma arquitetura de AVC foi elaborada com base nos principais requisitos computacionais do sistema, englobando os seguintes módulos: Módulo de Avaliação, Módulo de Comunicação em Rede, Módulo Gráfico.

5 DESENVOLVIMENTO

Após a elucidação à respeito da etapa de planejamento do simulador *SimCEC* e serem definidos os conteúdos abordados, as métricas de avaliação e o escopo geral do projeto, este capítulo tem por objetivo descrever a etapa de desenvolvimento do sistema. De modo geral, a etapa de desenvolvimento envolveu as seguintes fases: escolha das ferramentas de desenvolvimento, a modelagem do cenário 3D, a implementação da lógica computacional, a criação de um modelo de avaliação, a criação das animações, dentre outras. Observando-se a natureza multidisciplinar do projeto, inicialmente torna-se importante o esclarecimento acerca dos principais termos específicos da computação utilizados ao longo deste capítulo, com o intuito de promover uma melhor compreensão dos profissionais que não sejam desta área. Neste sentido, o AVC *SimCEC* foi desenvolvido de acordo com o paradigma de programação de sistemas denominado orientação a objetos e que se baseia na composição e interação entre diversas unidades de *software* chamadas objetos (GAMMA et al, 2000). Os objetos são instâncias, isto é, realizações de classes e representam diferentes tipos de entidades dentro de um sistema. As classes, por sua vez, representam um gabarito para a criação de objetos com características e comportamentos afins, que determinam quais informações e comportamentos serão armazenadas. Pode-se afirmar que a definição da estrutura de classes, bem como de seus inter-relacionamentos constitui o principal resultado do planejamento de um sistema (MORAIS, 2011).

5.1 FERRAMENTAS UTILIZADAS

Observando-se os requisitos levantados no Capítulo anterior, foi realizada uma busca e análise de diferentes tecnologias para desenvolvimento de sistemas gráficos, dentre as quais foram selecionadas: *Unity 3D*, *Blender* e o *Adobe Fireworks*, que são apresentados a seguir.

Observando-se a necessidade de interatividade do ambiente virtual, sendo este destinado à educação de estudantes, tornou-se necessário que o simulador se utilizasse de técnicas computacionais que promovessem tal interação. Deste modo, o uso de recursos tais como a simulação de eventos físicos, a simulação de dinâmicas de partículas (ex: água, bolhas), a detecção de colisão interativa entre os objetos virtuais, a geração dos modelos tridimensionais se fizeram fundamentais. Todas estas funcionalidades ricas dentro do contexto

da criação de jogos e de simuladores de RV encontram-se totalmente integradas na *Game Engine* (Motor de Jogos) *Unity3D* (UNITY3D, 2012), sendo por este motivo, tal ferramenta utilizada no desenvolvimento do simulador. O *Unity3D* possibilita o desenvolvimento de jogos, bem como de outros conteúdos interativos de diversos tipos, que vão desde jogos simples 2D até jogos 3D *online* multijogadores. Esta ferramenta também permite uma ampla distribuição dos conteúdos gerados que podem ser exportados para diferentes plataformas (sistemas operacionais e dispositivos), tais como: *Windows*, *Linux*, *iPhone*, *iPod*, *iPad*, dispositivos *Android*, *Xbox Live Arcade*, PS3, Nintendo e serviço *WiiWare*. Uma outra importante funcionalidade desta plataforma de desenvolvimento é a disponibilidade do *Unity Web Player*, que é um *plugin* para navegadores que suporta os conteúdos gerados no *Unity3D*, possibilitando a execução dos conteúdos na web. Finalmente, pode-se citar a possibilidade de uso de diferentes linguagens de programação como o C++/C#, Javascript e o Boo (UNITY3D, 2012).

Para a modelagem e animação de alguns dos objetos virtuais presentes na simulação, tais como o avatar e os EPIs, foi utilizado o *Blender*. O *Blender* é um *software* voltado para a modelagem de objetos 3D, animação, produção, criação interativa, pós-produção e criação de jogos, dentre outras funções. Possui licença *Open Source* e é mantido pela Fundação *Blender*, uma entidade pública sem fins lucrativos (BLENDER, 2013). O programa é multiplataforma, estando portanto disponível para diversos tipos de sistemas operacionais (*Windows*, *Linux*, *Irix*, *Sun Solaris FreeBSD* e *Mac OS*). O sistema oferece avançadas ferramentas de simulação, tais como: dinâmica de corpo rígido, dinâmica de corpo macio e dinâmica de fluidos, ferramentas de modelagem baseadas em modificadores, ferramentas de animação de personagens, um sistema de composição baseado em “nós” de texturas, cenas e imagens, e um editor de imagem e vídeo 3D (MORAIS, 2011).

Finalmente, foi utilizado o *Fireworks* para a criação e edição de todos conteúdos gráficos 2D do simulador (ADOBE, 2013). O *Fireworks* é um editor de imagens de *bitmap* e desenho vetorial, destinado à publicação de conteúdos gráficos na Internet e em dispositivos móveis interativos, como celulares e *tablets*. O sistema possui licença proprietária e disponibiliza uma versão gratuita por tempo limitado. Os conteúdos gráficos são gerados e editados por meio de uma interface gráfica amigável, sem a necessidade de implementação de código. O sistema possibilita a edição de GIFs animados, imagens no formato PNG e criação de imagens fatiadas, além de possibilitar a compressão de imagens.

5.2 SISTEMAS DE AVALIAÇÃO INDIVIDUAL (SAI) E COLABORATIVO (SAC)

Abordando questões relacionadas aos requisitos computacionais dos sistemas de avaliação em simuladores de RV, Moraes e Machado (2010) apontam que os principais problemas dos sistemas de avaliação são a precisão e a complexidade. A precisão está relacionada à avaliação de métricas que muitas vezes não possuem consenso entre os profissionais da área de saúde, devido ao grau de subjetividade envolvido nestes procedimentos. Já a complexidade se relaciona aos requisitos computacionais destes sistemas. Como observado, os métodos de decisão não devem ser complexos computacionalmente ao ponto de comprometerem o desempenho da simulação, devendo também avaliar o usuário de uma forma precisa de modo que os erros de julgamento sejam evitados (MORAES; MACHADO, 2011a). Considerando-se estas orientações e os requisitos levantados no Capítulo anterior, as principais variáveis de avaliação foram detectadas e deste modo, um modelo de avaliação colaborativa pôde ser desenvolvido e é apresentado no tópico a seguir. O modelo de avaliação se utiliza de escores que são computados com base nas variáveis de avaliação, e nos pesos de importância de cada tarefa realizada no simulador. Tal modelo foi implementado nos Sistemas de Avaliação que encontram-se acoplados ao simulador colaborativo. É importante observar que este não se trata de um modelo genérico, mas sim um modelo de avaliação dos procedimentos simulados, podendo ser expandido futuramente para casos semelhantes, que envolvam as variáveis incorporadas no estudo.

5.2.1 Modelo de decisão para avaliação

Após o levantamento das variáveis de avaliação, observou-se que a natureza de tais informações permitiu o uso dos dados brutos gerados ao longo da interação com o simulador. Também foi verificado que a maior parte das variáveis não apresentaram características de subjetividade e imprecisão de mensuração pertencendo portanto, ao domínio da Lógica Clássica. Deste modo, dentre os métodos de avaliação apresentados no Capítulo 2, optamos pela utilização de um modelo de avaliação baseado em Lógica Clássica. No entanto, objetivando-se adequar o modelo de avaliação a fim de serem trabalhadas também aquelas variáveis que possuem características de imprecisão (ex: comprimento da incisão, distância, e regiões no espaço), foram utilizados dois tipos de intervalos contendo os valores corretos ou incorretos.

Neste sentido, o módulo de avaliação do *SimCEC* utiliza-se das regras lógicas onde está armazenado o conhecimento especialista e verifica o nível de acerto dos estudantes em cada procedimento, com base nos dados coletados durante a interação. Uma vez concluída a simulação, todos os dados considerados relevantes servem de entrada para as equações que computam os escores individuais e coletivo.

Os escores, por sua vez, levam em consideração os pesos de cada tarefa inserida no conjunto dos procedimentos realizados. Neste sentido, para cada membro da equipe são levados em consideração os parâmetros específicos dos procedimentos realizados individualmente. Como exemplo, para a definição do escore individual do instrumentador cirúrgico, o modelo avaliador monitora se os instrumentais esperados foram escolhidos de modo correto, bem como se tal tarefa foi desempenhada dentro de um tempo considerado ideal.

Em relação aos escores individuais, foi observada a necessidade de repetição de algumas variáveis para cada membro, como é o caso do ordenamento das tarefas executadas individualmente e o tempo de execução. As equações definidas para computarem os escores individuais dos membros instrumentador (I), anestesta (A) e cirurgião (C) são exibidas a seguir:

$$I = (nIC * pi1/tIC) - (Ti*pi2) + (taO * pi3/taTO) - (e1 + e3)*pE2 \quad (1)$$

Onde nIC = número de instrumentais escolhidos corretamente; $pi1$ = peso da variável nIC ; tIC = total esperado de instrumentos escolhidos corretamente; Ti = tempo de execução da tarefa; $pi2$ = peso da variável Ti ; taO = número de tarefas realizadas na ordem correta; $pi3$ = peso da variável taO ; $taTO$ = total esperado de tarefas ordenadas.

$$A = (nAC*pa1/tAC) - (Ta*pa2) + (nMC*pa3/tM) - e2*pE2 \quad (2)$$

Onde nAC = número de anestésicos escolhidos corretamente; $pa1$ = peso da variável nAC ; tAC = total esperado de anestésicos escolhidos corretamente; Ta = tempo de execução da tarefa; $pa2$ = peso da variável Ta ; nMC = número de monitores do paciente escolhidos corretamente; $pa3$ = peso da variável nMC .

$$C = (i*pc1 + (nRAC*pc2/tRAC) + (tcO * pc3/tcTO) - (e1 + e2 + e3 + e4)*pE2 \quad (3)$$

Onde i = variável booleana (0 ou 1) que verifica se a incisão foi realizada dentro do intervalo esperado ou não; $pc1$ = peso do procedimento da incisão; $nRAC$ = número de regiões onde a antisepsia do paciente foi realizada corretamente; $pc2$ = peso da variável

$nRAC$; tcO = número de tarefas realizadas na ordem correta; $pc3$ = peso da variável tcO ; $tcTO$ = total esperado de tarefas ordenadas.

As variáveis $e1, \dots, e4$ são os erros graves que podem ser cometidos ao longo da simulação por um ou mais membros. Para cada um deles foi definido um peso igualitário $pE2$. Cada um dos possíveis erros serão explicados e detalhados mais a frente, logo após ser apresentada a equação final da equipe.

Uma vez computados todos os escores individuais, estes servem como parâmetros de entrada na equação que gera o escore final da equipe, além das demais variáveis. No entanto, é importante observar que antes do uso dos escores em um nível superior (ex: equação do escore da equipe), tornou-se necessária a aplicação de uma função de normalização, definida pela razão entre os escores alcançados e os escores máximos esperados, de modo a se regularizar a nota final no nível superior. Os escores máximos esperados são, como o próprio termo define, os maiores valores que podem ser alcançados por cada escore. Como exemplo da aplicação da função de normalização e definição do escore final da equipe (7), temos:

$$I = \text{norm}(I, \max_I) \quad (4)$$

$$A = \text{norm}(A, \max_A) \quad (5)$$

$$C = \text{norm}(C, \max_C) \quad (6)$$

$$Eq = I*pi + A*pa + C*pc \quad (7)$$

Sendo pi , pa e pc , os pesos definidos para os escores individuais do instrumentador, do anestesista e do cirurgião, respectivamente.

É importante observar que a equação (7) leva em consideração somente os aspectos técnicos individuais, estando a relação de dependências entre os membros expressa apenas no tempo de execução das tarefas individuais. Assim, o escore da equipe pôde ser refinado pela adição de outras variáveis que enfatizam também as habilidades de interação e que são importantes no contexto da avaliação colaborativa.

O escore de movimentação da equipe objetiva monitorar o uso do espaço da sala de operações, enquanto a equipe estiver atuando. Deste modo, aquelas situações em que um ou mais membros venham a sair de seu ambiente de trabalho durante momentos importantes podem ser detectadas. Especialmente em procedimentos cirúrgicos e quando o espaço da sala de operações é restrito, ocorrências de colisões entre os membros podem pôr em perigo a vida do paciente. Do mesmo modo que dois corpos não podem ocupar o mesmo espaço no mundo

real, dois usuários não podem estar no mesmo lugar no mundo virtual (PAIVA; MACHADO; VALENÇA, 2013). Deste modo, temos que:

$$Ei = I*pi + A*pa + C*pc \quad (8)$$

$$mov = nCols + nS \quad (9)$$

$$Eq = Ei*pEi + mov*pm - (Tpc * pTpc) \quad (10)$$

Onde pi , pa e pc representam os pesos de importância do instrumentador, do anestesiologista e do cirurgião, respectivamente; Ei = representa os desempenhos individuais; pEi = peso da variável Ei ; mov = movimentação da equipe no espaço; $nCols$ = número de colisões entre os corpos dos membros; nS = número de saídas dos postos individuais de trabalho de cada membro; pm = peso de movimentação; Tpc = tempo de preparação cirúrgica; $pTpc$ = peso da variável Tpc .

O tempo de execução, por exemplo, é importante principalmente para as tarefas de escolha dos instrumentais e dos anestésicos gerais, uma vez que possibilita a análise de quanto os possíveis atrasos destes membros influenciam negativamente nas tarefas subsequentes realizadas pelo cirurgião, como é o caso da incisão. Deste modo, uma vez ultrapassado o tempo considerado ideal (~ 15 minutos), o desempenho passa a ser decrementado pelo tempo atual, com base no peso de importância pré-estabelecido.

Observando-se a importância das ações individuais em relação ao respeito às regras de controle de infecção hospitalar ao longo dos procedimentos cirúrgicos, também foi incluída uma variável que representa o nível de biossegurança (B). Esta é computada com base nos desempenhos individuais no procedimento de higienização das mãos e no número de erros de biossegurança cometidos.

$$Ha = Hi = Hc = nAH * hMax/nT \quad (12)$$

$$Ha = norm(Ha, max_Ha) \quad (13)$$

$$Hi = norm(Hi, max_Hi) \quad (14)$$

$$Hc = norm(Hc, max_Hc) \quad (15)$$

$$B = (bMax/3)*Ha + (bMax/3)*Hi + (bMax/3)*Hc - (nBerr*pBerr) \quad (16)$$

Onde Ha , Hi e Hc são os escores da tarefa de higienização das mãos para o anestesiologista, instrumentador e cirurgião, respectivamente; nAH = nº de sub-tarefas corretas no procedimento; $hMax$ = valor máximo esperado; nT = nº total de sub-tarefas do procedimento;

$nBerr$ = número de erros de biossegurança; $pBerr$ = peso da variável $nBerr$; $bMax$ = valor máximo esperado da variável B .

A variável $nBerr$ computa o número de erros de biossegurança. Estes erros englobam aqueles casos onde um ou mais membros da equipe venham a entrar na sala cirúrgica sem terem realizado o procedimento de higienização das mãos ou estarem adequadamente vestidos.

Como recomenda a literatura (SATAVA, 2006) é importante que os possíveis erros cometidos por parte dos estudantes sejam previstos pelo modelo avaliador, sendo dada especial atenção aos erros considerados mais graves, e que por ventura venham comprometer a vida do paciente. Neste sentido, foram definidas duas classes de erros:

- *Classe E1*: Erros que podem ser corrigidos sem danos à saúde do paciente ou que venham a comprometer o desempenho da equipe como um todo (ex: atrasos na escolha dos instrumentais).
- *Classe E2*: Erros mais graves que envolvem danos diretos no paciente e/ou ferem as normas de biossegurança.

Particularmente aqueles erros mais graves (E2) que são gerados pela falta de mais de um membro são computados tanto nos escores individuais de cada membro envolvido, como também no escore final da equipe. Os erros mais graves previstos pelo simulador encontram-se no quadro 2.

Quadro 2 - Grupo dos erros considerados mais graves que são previstos pelo simulador

Erros	Descrição
e1	Incisão realizada sem que a placa do bisturi elétrico esteja aderida ao paciente, possibilitando a ocorrência de choques e queimaduras.
e2	Incisão efetuada sem realização da indução anestésica.
e3	Uso de instrumentais sem que o procedimento de desinfecção dos mesmos tenha sido realizado.
e4	Incisão realizada, sem que a antisepsia do paciente tenha sido efetuada.

Deste modo, finalmente temos a seguinte equação final:

$$Eq = Ei * pEi + B * pb + mov * pm - (Tpc * pTpc) - (e_1 + \dots + e_n) * pE2 \quad (17)$$

Sendo $e_1, e_2, \dots, e_n$ = erros da classe E2; $pE2$ = peso dos erros do tipo E2.

É importante destacar que para a conclusão do modelo avaliador, foi necessária uma etapa final de calibração dos pesos do modelo. Neste processo, foi consultado um profissional da área de saúde para serem equilibrados os pesos de acordo com diferentes casos simulados. Após este processo, os seguintes pesos foram estabelecidos:

Quadro 3 - Pesos utilizados para computação do escore da equipe

pi	Pc	pa	pb	pEi	pm	$pTpc$	$pE2$
1.5	4.0	1.5	3	7	0.09	0.1	4.5

Quadro 4 - Pesos utilizados para computação dos escores individuais

$pi1$	$pi2$	$pi3$	$pa1$	$pa2$	$pa3$	$pc1$	$pc2$	$pc3$
8.0	0.035	2	6.0	0.035	4.0	5.0	1.0	4.0

Após terem sido estabelecidos todos os pesos, foi desenvolvido o algoritmo para computação dos escores e exibição do relatório final de desempenho (Figura 24). Após serem definidos todos os pesos, observou-se a necessidade de serem simulados alguns casos, onde foram variados todos os parâmetros do modelo, a fim de se verificar os resultados obtidos. Deste modo, o algoritmo de avaliação foi escrito na linguagem *Javascript* de modo que alguns casos pudessem ser previamente simulados, antes de o modelo ser incorporado de fato no simulador.

Figura 24 - Pseudo-código do algoritmo para computação dos escores individuais e da equipe

```

1.   $nS \leftarrow controleAVC.getNumSaidas();$ 
2.   $nCols \leftarrow controleAVC.getNumColisoas();$ 
3.   $mov \leftarrow nS + nCols;$ 
4.   $pm \leftarrow 0.09;$ 
5.   $Tmin \leftarrow 15.0;$ 
6.   $T \leftarrow 0.0;$ 
7.   $pt \leftarrow 0.1;$ 
8.   $pb \leftarrow 3.0;$ 
9.   $pEi \leftarrow 7.0;$ 
10.  $pa \leftarrow 1.5;$ 
11.  $pi \leftarrow 1.5;$ 
12.  $pc \leftarrow 4.0;$ 
13.
14. // Cálculo dos escores
15.  $A \leftarrow setEscoreA();$ 
16.  $I \leftarrow setEscoreI();$ 
17.  $C \leftarrow setEscoreC();$ 
18.  $B \leftarrow setEscoreB();$ 
19. // Normalização
20.  $A \leftarrow norm(A, 10.0);$ 
21.  $I \leftarrow norm(I, 10.0);$ 
22.  $C \leftarrow norm(C, 10.0);$ 
23.  $B = norm(B, 10.0);$ 
24.
25.  $Ei \leftarrow A*pa + I*pi + C*pc;$ 
26.  $erros \leftarrow (e1 + e2 + e3 + e4) * pE2;$ 
27.  $Ei = norm(Ei, pEi);$ 
28.
29. if ( $T \geq Tmin$ )
30.      $Eq = (B*pb) + (Ei*pEi) - (mov*pm + T*pt) - erros;$ 
31. else
32.      $Eq = (B*pb) + (Ei*pEi) - (mov*pm) - erros;$ 
33.

```

Neste processo, três grupos de situações foram simuladas: 1) melhores casos; 2) casos intermediários e 3) piores casos. Como a própria classificação define, os casos variaram desde o melhor caso, onde nenhum dos participantes cometeram falhas, até os casos em que erros graves foram cometidos. Os resultados obtidos podem ser vistos na tabela presente no Apêndice A. No caso 2, por exemplo, todos os membros agiram corretamente e concluíram todas as tarefas individuais sem erros, porém com muita movimentação da equipe no espaço cirúrgico, com ocorrências de saídas dos postos individuais de trabalho e com colisões entre os membros. Para cada caso simulado, observou-se que o modelo avaliador se comportou conforme o esperado, isto é, de acordo com os pesos pré-determinados com o profissional da saúde, e os escores obtidos corresponderam às tarefas realizadas, bem como às interações estabelecidas entre os membros. Os últimos e piores casos, possuíam um escore final da equipe igual a zero, onde os erros considerados mais graves foram cometidos, como o caso da

incisão ser realizada sem a indução anestésica, ou sem que a placa estivesse aderida ao paciente. Finalmente, é importante ressaltar que a latência da rede geralmente é imprevisível na execução dos AVCs e não se apresenta constante durante toda simulação, fazendo com que ocorram inconsistências e pontos de vista não sincronizadas do ambiente virtual compartilhado. Deste modo, o sistema de avaliação é afetado na mensuração dos desempenhos dos usuários remotos. Uma solução para tal problemática é apresentada por Moraes e Machado (2013) onde é proposto um sistema de avaliação adaptável que evita os erros de medição ao serem verificadas a execução de cada tarefa do usuário e o roteiro geral de tarefas do procedimento.

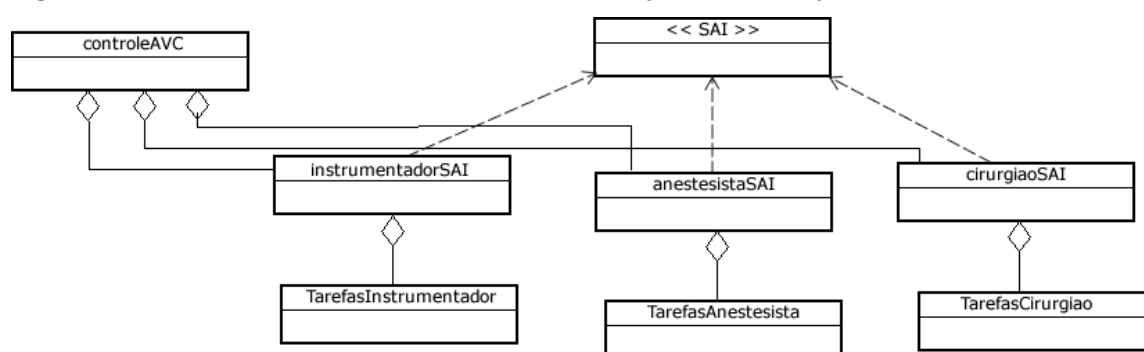
5.2.2 Classes de avaliação

As classes de avaliação são responsáveis pelo monitoramento e armazenamento das variáveis de avaliação, computação dos escores, geração e apresentação dos relatórios finais aos estudantes. As equações apresentadas anteriormente, por exemplo, são armazenadas em uma classe de controle do sistema chamada *controleAVC*. Os objetos que representam cada membro possuem associados a cada um deles, dois tipos de classe, sendo a primeira responsável pela representação gráfica de todos os seus procedimentos e a segunda responsável pela avaliação destes procedimentos. O primeiro grupo engloba as classes *tarefasInstrumentador*, *tarefasCirurgiao* e *tarefasAnestesista* e o segundo grupo é constituído pelas classes *anestesistaSAI*, *instrumentadorSAI* e *cirurgiaoSAI* (Figura 25). As classes de avaliação implementam a interface *SAI*, e contém as variáveis que são armazenadas ao longo da interação do estudante com o simulador no momento de cada procedimento individual, bem como aqueles dados que são considerados importantes para o processo de geração dos relatórios. De modo geral, são exemplos de dados armazenados nestas classes: vetores de mensagens informativas, o número de erros e de tentativas efetuadas, dentre outras variáveis de controle da lógica computacional da simulação.

Além destes dados, foram definidas algumas importantes funções comuns a todas as classes de modo que o acesso às variáveis dos diferentes procedimentos pudesse ser realizado de modo similar. Por exemplo, observando-se o requisito de permitir ao estudante a repetição de alguns dos procedimentos, foi definido o método *cleanAll()* que reinicializa os estados de todas as variáveis anteriormente computadas. O método *getVariaveis()*, por sua vez, dá acesso

às variáveis de avaliação de cada procedimento em particular e o *getMsgDesempenho()*, permite o acesso à uma mensagem que informa o desempenho alcançado. Estes métodos são chamados, por exemplo, na construção dos relatórios de desempenho final e parcial e estão localizados no grupo de classes dos procedimentos individuais. Finalmente, os métodos *setEscores()* e *displayAssessmentReport()* são respectivamente responsáveis pela: (a) computação dos escores; (c) e permitir a exibição de um relatório final da equipe. O número de erros e os tipos de erros efetuados também são computados.

Figura 25 - Estruturas de classes do módulo de avaliação e suas relações



5.3 QUESTÕES DE IMPLEMENTAÇÃO

Como visto anteriormente, o *SimCEC* foi implementado segundo uma abordagem de comunicação em rede não-hierárquica (ponto-a-ponto). Nesta abordagem, qualquer usuário pode agir semelhante a um "servidor" ao inicializar a simulação, bem como agir como os "clientes" que se conectam ao ambiente virtual. Neste sentido, se fez necessário que ambos os códigos responsáveis pela inicialização do servidor e conexão dos clientes estivessem presentes em todas as cópias do AVC, sendo desenvolvida a classe *comboConect* para suprir tal necessidade. Esta classe tem como principais funções: o armazenamento das informações do membro local, armazenamento dos avatares de todos os membros da equipe (anestesista, instrumentador, cirurgião), estabelecimento da conexão em rede, configuração da câmera principal após a conexão, dentre outras operações.

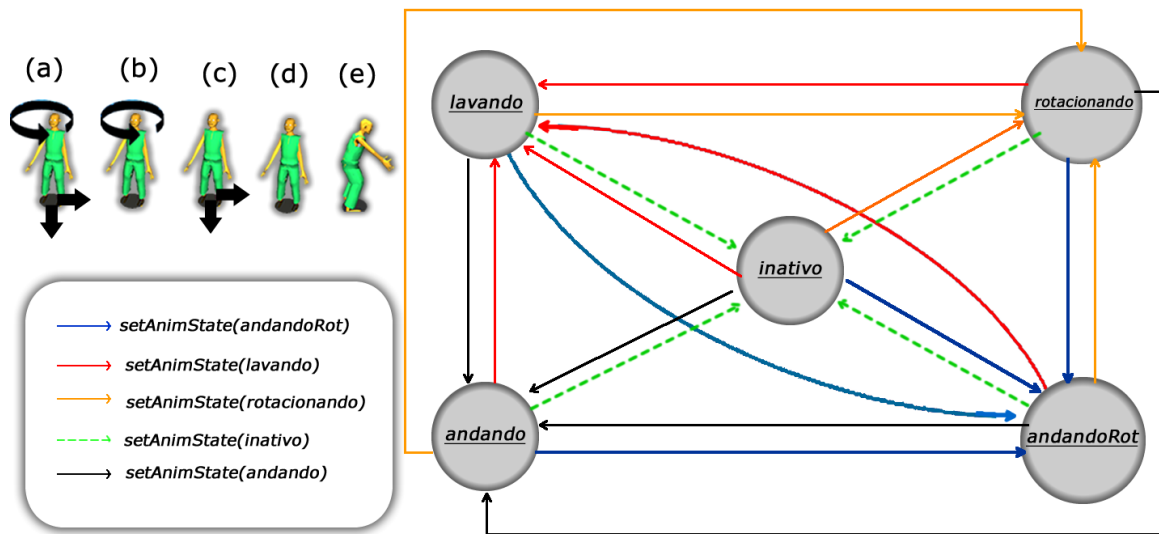
Deste modo, cada participante que se conecta, possui as suas informações armazenadas localmente pela classe *Membro*, tais como: o nome, a função na equipe, a estrutura de dados contendo as informações de rede (*network.Player*) e o modelo 3D do avatar do participante. É importante que estas informações estejam armazenadas e disponíveis para

que sejam acessadas em diferentes momentos da simulação como, por exemplo, quando se faz necessário a execução de uma atividade específica para um membro em particular (ex: exibir uma mensagem apenas para o anestesista). Logo após cada recepção de requisições de conexão por parte dos novos participantes, o servidor inicializa um novo objeto do tipo *Membro*, sendo carregado e visualizado o avatar do participante no ambiente virtual. Logo em seguida, a câmera principal é configurada para visualização do avatar recém inicializado, em perspectiva de terceira pessoa. Cada instância de um membro possui associado a ela, as classes que implementam tanto as tarefas particulares de cada membro em particular, bem como aquelas que codificam as tarefas gerais e que são realizadas por toda a equipe.

A classe *CH_Controller*, por sua vez, tem como objetivos principais o gerenciamento das animações e atualizações da movimentação dos personagens de acordo com as interações dos usuários com o simulador. Finalmente, esta classe também realiza o cálculo das distâncias euclidianas entre os membros da equipe, a fim de que sejam computadas as eventuais colisões entre os mesmos. Com este objetivo, foi utilizada a função *Vector3.Distance(p1, p2)* disponibilizada pelo *Unity 3D*.

Alguns estados de animação para os avatares foram estabelecidos, de modo que pudessem ser simulados os diferentes comportamentos de cada membro da equipe ao longo da simulação, sendo estes: a) *inativo*: quando os membros estiverem parados; b) *andandoRot*: permite a translação e a rotação do avatar, simulando o livre caminhar; c) *andando*: permite apenas a translação do avatar (sem rotação) para que seja simulado o caminhar apenas para frente; d) *rotacionando*: permite apenas a rotação do avatar (sem translação), para aqueles momentos em que não seja permitido andar para frente; e) *lavando*: animação que simula o comportamento de enxágue das mãos durante o procedimento de higienização das mãos. Após serem definidos estes estados de animação, foi definido o tipo de dados *AnimState* e o método que define a transição entre estes estados *setAnimState()*, podendo ser chamado em qualquer momento e por qualquer objeto da simulação. A figura 26, ilustra as possibilidades de estados de animação do personagem e de transição entre os mesmos:

Figura 26 - Possíveis estados e transições entre as animações dos personagens virtuais



No que se refere ao módulo de avaliação do simulador, existe a possibilidade de serem armazenados os relatórios gerados em uma base de dados implementada com o auxílio de arquivos XML (XML, 2011). O XML (*eXtensible Markup Language*) é uma linguagem de marcação capaz de descrever diversos tipos de informação. Um exemplo de uso deste padrão de arquivos utilizado no armazenamento de variáveis de avaliação do *SimCEC* pode ser visto na figura 27.

Figura 27 - Exemplo de arquivo .XML utilizado para armazenamento dos relatórios de desempenho

```

1  <?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
2  <UserData xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance" xmlns:xsd="http://www.w3.org/2001/XMLSchema">
3    <relatorio>
4      <numColisoesEntreMembros>0</numColisoesEntreMembros>
5      <numMensagensChat>7</numMensagensChat>
6      <numRespostasCorretas>0</numRespostasCorretas>
7      <biosseguranca>5</biosseguranca>
8      <tempoSimulacao>10:51</tempoSimulacao>
9      <ordem>0</ordem>
10 </relatorio>

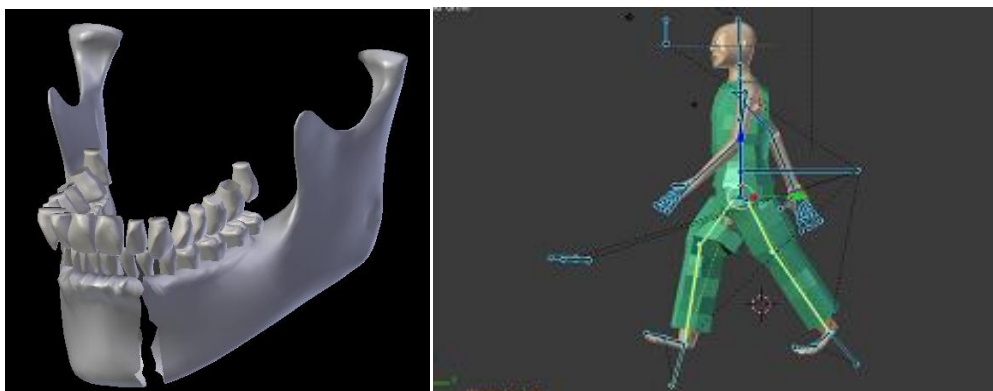
```

O acesso a este conteúdo se deu por meio de scripts de programação desenvolvidos na linguagem *Javascript* disponibilizada pelo *Unity*. Deste modo, torna-se possível que os estudantes acessem os relatórios de desempenho obtidos em simulações anteriores em momentos futuros, com o objetivo de comparação dos resultados alcançados e verificação do progresso no aprendizado.

5.4 CONSTRUÇÃO E MODELAGEM DO CENÁRIO

De modo geral, a construção do cenário do simulador envolveu algumas etapas, não necessariamente sequenciais: a) planejamento dos cenários; b) modelagem e edição dos objetos virtuais; c) busca de modelos 3D para a composição dos ambientes; d) importação dos objetos para a ferramenta de desenvolvimento *Unity 3D*; e) e finalmente a implementação de comportamentos e animações destes modelos. Durante a fase de planejamento do projeto, baseando-se nas observações e acompanhamentos das cirurgias, foram analisados os ambientes presentes no contexto clínico e hospitalar. Grande parte dos objetos presentes no interior destes ambientes, tais como as mesas dos anestésicos e dos instrumentais, as pias, dentre outros, foram buscados e reutilizados em bases de modelos gratuitas tais como o *3dwarehouse* (3DWAREHOUSE, 2013). Outros tiveram de ser modelados com o auxílio do *software* de modelagem e edição *Blender*, apresentado anteriormente, tal como o avatar utilizado como representação dos profissionais da equipe cirúrgica, os EPIs presentes no vestiário, e o modelo da mandíbula fraturada do paciente (Figura 28). Outros modelos de menor complexidade puderam ser modelados com o auxílio do próprio *Unity* como é o caso das paredes, bancos, portas e tetos. Após a conclusão da fase de modelagem e edição destes objetos, passou-se para a etapa de implementação das animações necessárias para representar alguns dos estados do avatar apresentadas anteriormente tais como o caminhar, a fricção das mãos e o movimento de inatividade. Também foram desenvolvidas as animações dos movimentos das portas presentes no cenário e o fluxo de água corrente utilizado na higienização das mãos, sendo o último gerado a partir simulador de partículas disponibilizado pelo *Unity*.

Figura 28 - Modelos tridimensionais da mandíbula e do avatar desenvolvidos com o auxílio do software de modelagem e animação Blender



5.5 CONSIDERAÇÕES

Este capítulo teve como finalidade discutir as etapas envolvidas no desenvolvimento do simulador, bem como realizar o detalhamento de questões de implementação. Inicialmente foram apresentadas as ferramentas utilizadas ao longo do projeto, tais como o *Blender*, *Unity 3D* e o *Fireworks*, sendo destacadas suas principais funcionalidades disponíveis. Em seguida foi apresentado o modelo avaliador implementado nos Sistemas de Avaliação Colaborativa (SAC) e Individual (SAI), e que encontram-se acoplados ao AVC. Finalmente, foram detalhadas os aspectos de implementação como as classes de avaliação definidas e suas relações, o funcionamento geral do sistema e o processo de criação e animação dos objetos virtuais tridimensionais presentes no simulador.

6 RESULTADOS

Este capítulo tem por objetivo apresentar como culminância das etapas de pesquisa anteriores, os resultados alcançados. Dentre os resultados obtidos que serão apresentados, inicialmente destacamos o AVC *SimCEC*. Posteriormente, foram realizados testes de uso do simulador e finalmente são apresentadas as publicações obtidas como fruto deste trabalho.

6.1 *SIMCEC*: SIMULADOR COLABORATIVO PARA EDUCAÇÃO DE EQUIPES CIRÚRGICAS

Após a conclusão das etapas apresentadas anteriormente, a equipe multidisciplinar envolvida no projeto produziu como resultado o AVC denominado Simulador Colaborativo para Educação de Equipes Cirúrgicas (*SimCEC*). O sistema é resultado dos estudos realizados sobre o uso dos ambientes virtuais de RV e da possibilidade de integração dos métodos de decisão como ferramentas auxiliares no processo de educação e avaliação. Deste modo, esta seção visa apresentar como se dá o fluxo da interação dos usuários com o simulador de uma forma prática. Em primeiro momento, é apresentada a tela inicial do simulador aos usuários, contendo o título do simulador e o menu de opções (Figura 29).

Figura 29 - Tela inicial do *SimCEC*, contendo um menu com as opções disponíveis



O menu, por sua vez, contém as seguintes opções: Configurações, Instruções, Iniciar Simulação e Créditos. Cada uma destas opções possuem as seguintes funções:

- *Configurações*: Permite que os usuários realizem as configurações de parâmetros de interação com o sistema, tais como a definição da velocidade do avatar, teclas de atalhos para modificação das câmeras, resolução do monitor, dentre outras (Figura 30).
- *Instruções*: Nesta opção, são exibidas as instruções necessárias para que os usuários utilizem o simulador de modo correto, tais como as formas de interação e forma de se conectarem ao servidor.
- *Iniciar Simulação*: Nesta opção, os usuários são levados para uma nova tela (Figura 31), em que deverão passar alguns dados importantes para que possam se conectar ao sistema ou inicializá-lo. Estes dados incluem: nome, função na equipe cirúrgica, IP do servidor.
- *Créditos*: A tela de créditos, exibe algumas informações importantes sobre o projeto realizado, tais como os dados da equipe de desenvolvimento, parcerias, financiadores e apoio.
- *Relatórios*: Opção que permite ao usuário carregar os relatórios armazenados em momentos anteriores do treinamento com o simulador.

Figura 30 - Tela de configurações do *SimCEC*. Nesta tela, opções de resolução do monitor, troca de câmeras, dentre outras podem ser efetuadas



Figura 31 - Tela inicial onde o usuário deve informar dados importantes para o estabelecimento da conexão, tais como o IP do servidor, o nome, a sua função na equipe



Inicialmente, o usuário que representará o cirurgião deve inicializar a aplicação e distribuir o seu endereço IP para que os demais usuários remotos possam se conectar ao sistema. O grupo de usuários, ao iniciar a simulação, estará presente na sala de recepção da clínica cirúrgica estando a visualização do ambiente pré-definida para o modo de primeira pessoa. Logo após todos usuários se conectarem ao sistema, é exibida uma mensagem inicial de apresentação e boas-vindas. Ao longo de toda a simulação, os usuários podem retornar ao menu de Instruções clicando no botão "Menu inicial" localizado no canto inferior à esquerda, caso necessitem de orientações de interação com o AVC.

Os estudantes também têm acesso a importantes informações presentes na barra de informações localizada na margem superior da tela. As informações disponíveis são: os usuários conectados atualmente no sistema, o tempo percorrido da simulação e as tarefas que já foram concluídas. A janela do *chat* pode ser ativada ou desativada tanto utilizando-se o botão "Abrir/Fechar Chat" localizado no canto inferior à direita da tela, como também pelo uso da tecla estabelecida como padrão. Posteriormente, a equipe de estudantes é convidada a interagir por meio do *chat* para que possam responder colaborativamente às perguntas iniciais a respeito de questões de biossegurança.

Após serem respondidas todas as perguntas, a equipe é encaminhada ao vestiário para que os membros possam realizar a coleta dos EPIs (Figura 32):

Figura 32 - Espaço virtual do vestiário onde os membros devem coletar os EPIs



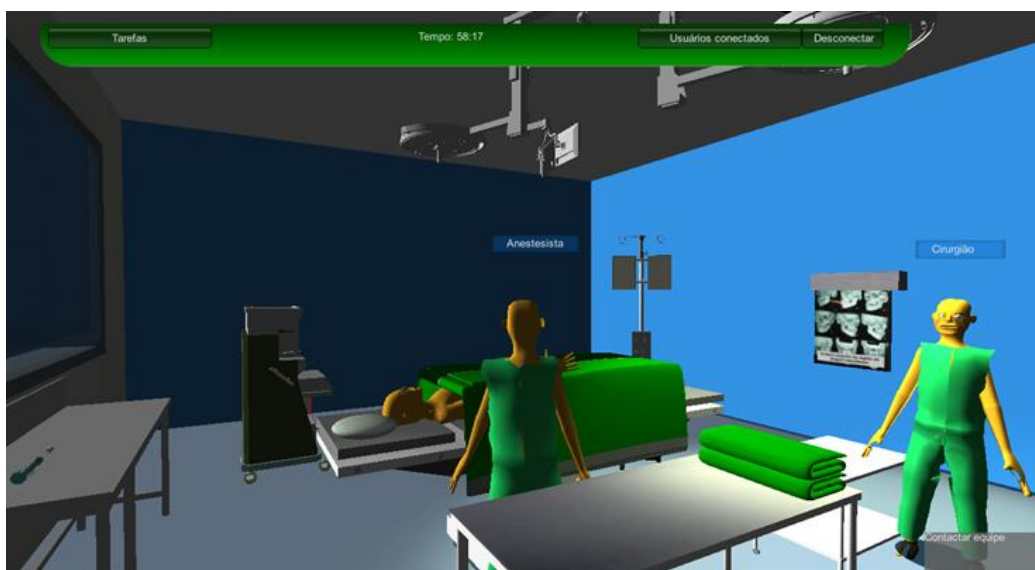
Logo após, a equipe deve se direcionar para a área de higienização das mãos, localizada no corredor que dá acesso à sala cirúrgica, para realizarem o procedimento. Neste, os estudantes são convidados a realizarem cada etapa do procedimento que vai desde o posicionamento do corpo em relação a pia e a escolha do tempo de lavagem (Figura 33). Durante execução de cada procedimento é exibido no canto superior da tela é exibido um relógio que realiza a contagem do tempo já excedido desde o início do procedimento.

Figura 33 - Procedimento de higienização das mãos



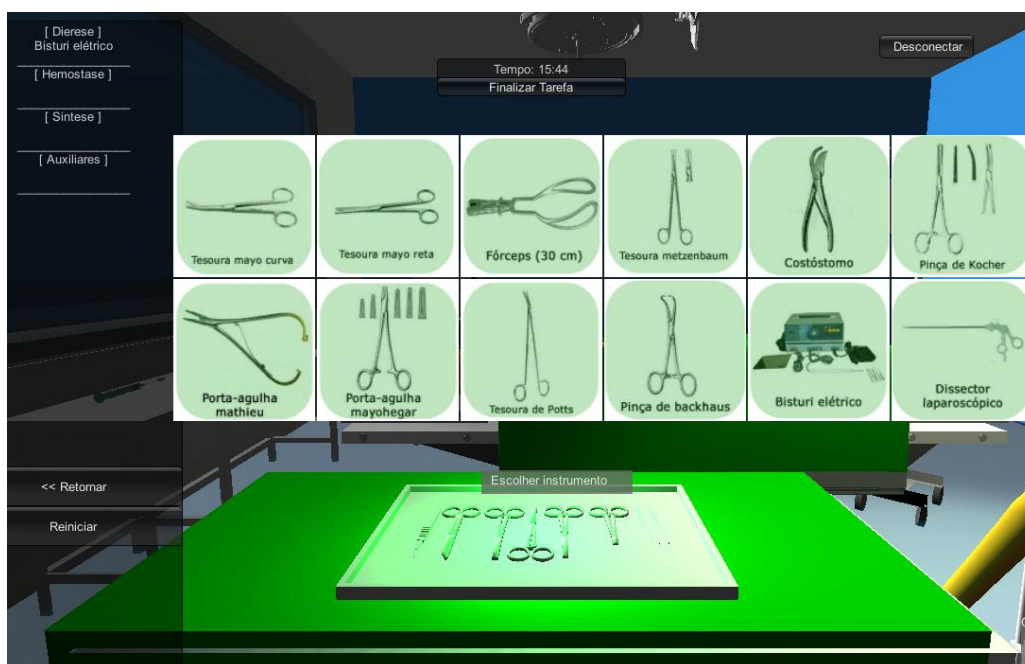
Nesta etapa da simulação, um dos usuários deverá esperar uma vez que apenas estão disponíveis duas pias para higienização das mãos. Aqueles que concluírem o procedimento e obtiverem desempenho aceitável podem se direcionar à sala cirúrgica para a realização da última etapa da simulação, que é a preparação cirúrgica. Neste momento, os estudantes se direcionam à sala cirúrgica onde, deverão ter especial atenção a coordenação de movimentos no espaço e a ordem das tarefas que serão executadas (Figura 34).

Figura 34 - Espaço da sala cirúrgica, onde é realizada a última fase da simulação (pré-operatório)



Na etapa de preparação cirúrgica o instrumentador realizará o procedimento de escolha dos instrumentais aplicados à uma cirurgia do tipo de fratura mandibular, dentre uma série de opções dentro e fora deste contexto. Os instrumentos são exibidos como botões contendo imagens 2D. A seleção dos instrumentos se dá pelo clique com o botão esquerdo do mouse em cima de cada elemento, sendo exibido um painel do lado esquerdo com a listagem dos instrumentais escolhidos (Figura 35). De modo semelhante, o anestesista deverá proceder na escolha das substâncias utilizadas como anestésicos gerais. São exibidas as ampolas de anestésicos e a medida que o estudante movimenta o *mouse* em cima destes objetos são exibidos os nomes de cada substância. Após realizar a seleção de cada uma delas, o estudante deve puxar a base da agulha, simulando a escolha da dosagem de cada anestésico.

Figura 35 - Procedimento de escolha dos instrumentais cirúrgicos



O cirurgião, por sua vez, realiza as suas tarefas de preparação cirúrgica tais como a verificação da radiografia do paciente (Figura 37), a escolha da região para realização da antissepsia do paciente, escolha da abordagem cirúrgica e finalmente a incisão. Como apresentado anteriormente, o *SimCEC*, suporta dois tipos de abordagem cirúrgica: a intra-oral (Figura 38) e a extra-oral submentoniana (Figura 39).

Figura 1 - Momento em que o membro cirurgião deve observar a radiografia do paciente



Figura 37 - Procedimento de incisão, segundo abordagem cirúrgica intra-oral

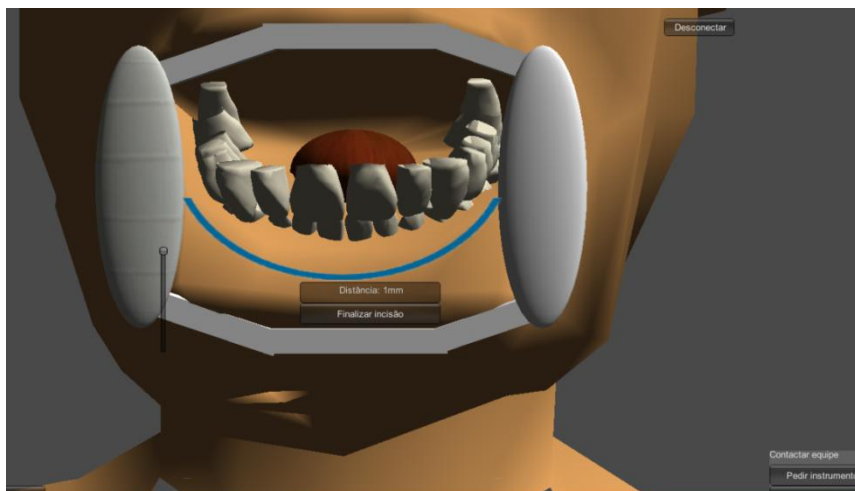


Figura 38 - Procedimento de incisão, segundo abordagem submentoniana



Ao término da incisão, é disponibilizado aos membros da equipe a visualização do relatório de desempenho gerado para toda a equipe, contendo os detalhes dos procedimentos realizados (tais como erros e acertos), e os escores individuais e da equipe (Figura 40).

Após a conclusão do sistema, foram realizados alguns testes de execução da aplicação (Figura 41), de modo a serem analisadas as suas funcionalidades, bem como algumas questões de interação. Para realização dos testes, três cópias do AVC foram executadas em computadores interligados em rede local de velocidade *Gigabit*. A interação com o simulador ocorre por meio dos dispositivos convencionais *mouse* e teclado. No que diz respeito ao

desempenho da comunicação em rede, verificou-se com base nas observações iniciais que o sincronismo entre as informações compartilhadas se manteve estável em todas as cópias locais. No entanto, testes de desempenho de rede mais precisos podem ser realizados no futuro, incluindo casos de uso em um escopo de rede mais abrangente, como é o caso da *Internet*.

Figura 39 - Relatório de desempenho exibido ao término da simulação, contendo todos os escores computados com base no modelo avaliador

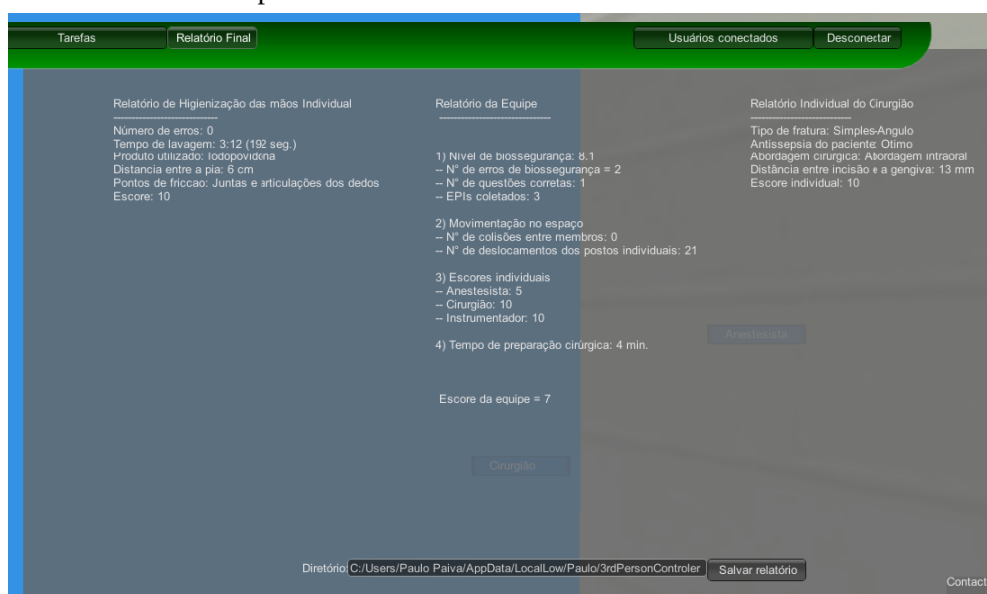
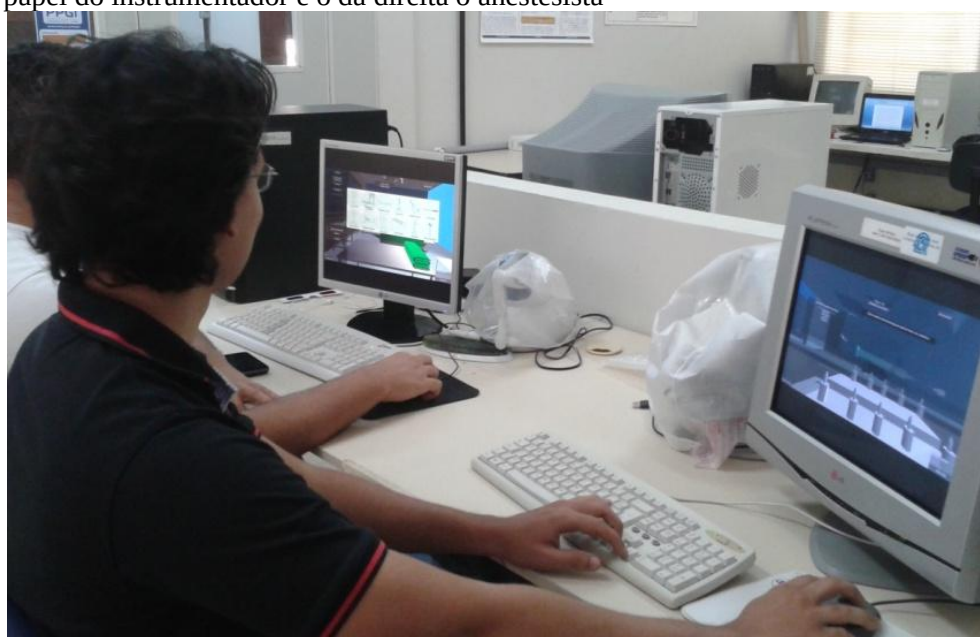


Figura 40 - Teste de execução do *SimCEC*: o usuário a esquerda está exercendo o papel do instrumentador e o da direita o anestesiista



6.2 PUBLICAÇÕES

Ao longo do ano de 2012, algumas pesquisas e projetos foram conduzidos em relação ao uso dos Ambientes Virtuais Colaborativos no contexto do ensino da saúde. Inicialmente foram realizados testes de desempenho de algumas aplicações colaborativas desenvolvidas com o auxílio do *framework* Cybermed (PAIVA *et. al.*, 2012a). Para tal finalidade, as aplicações foram simuladas em um simulador de sistemas em rede chamado *OPNET Modeler* para análise do desempenho de tais cenários. Vale ressaltar que estudos sobre o desempenho dos AVCs são frequentemente encontrados na literatura e possibilitam uma maior compreensão dos requisitos de transmissão de dados em sistemas de RV.

Como resultados da conclusão deste projeto foram produzidos dois artigos. O primeiro deles intitulado “*An Experimental Study on CHVE's Performance Evaluation*” foi apresentado no evento *Medicine Meets Virtual Reality* na Califórnia (EUA) e publicado no periódico *Studies in Health Technology and Informatics* (PAIVA *et. al.*, 2012a). O segundo trabalho, denominado “*A peer-to-peer Multicast Architecture for Supporting Collaborative Virtual Environments (CVEs) in Medicine*” foi publicado nos anais do Simpósio de Realidade Virtual e Aumentada (SVR) ocorrido em Niterói/RJ (PAIVA; MACHADO; OLIVEIRA, 2012b).

Posteriormente, foi realizado um estudo sobre o uso da ferramenta de desenvolvimento de jogos *Unity 3D*, e do uso de jogos educativos em suporte ao ensino da saúde. Para este estudo em particular, foi abordada a temática da biossegurança. Este trabalho teve como objetivo o desenvolvimento de um jogo educativo para auxiliar o ensino de práticas da biossegurança em Odontologia. Como resultados deste trabalho, foi desenvolvido um artigo intitulado “Uma proposta de *Serious Game* para o Ensino de Biossegurança em Odontologia” sendo publicado na revista intitulada “Pesquisa Brasileira em Odontopediatria e Clínica Integrada” (PAIVA; MACHADO; VALENÇA, 2014).

Como resultado do levantamento bibliográfico acerca do uso de aplicações de RV como suporte para educação em saúde e da proposta de uma arquitetura de AVC foram publicados dois artigos. O primeiro deles, “*A Virtual Environment for Training and Assessment of Surgical Teams*” foi publicado nos anais do Simpósio de Realidade Virtual e Aumentada (SVR) ocorrido em Cuiabá/MT (PAIVA; MACHADO; VALENÇA, 2013). O segundo, intitulado “*Potencialidades da Educação em Saúde Baseada em Realidade Virtual*” foi publicado na Revista Eletrônica de Comunicação, Informação & Inovação em Saúde (RECIIS) (PAIVA *et al.*, 2013).

7 CONCLUSÃO

Este capítulo tem como objetivo principal discutir importantes questões sobre o estudo realizado, a possibilidade de realização de trabalhos futuros e as considerações finais. Este trabalho apresentou as fases de planejamento e desenvolvimento de um simulador colaborativo voltado para a educação de estudantes em práticas básicas de procedimentos cirúrgicos.

É notória a utilização cada vez mais crescente dos simuladores de RV voltados para o treinamento de habilidades em procedimentos de saúde nas últimas décadas. No entanto, os simuladores são muito requisitados para educação, apesar de serem desenvolvidos com pouca atenção à etapa de planejamento e ao currículo médico (Machado; Moraes, 2013). Observa-se que os sistemas disponíveis geralmente não seguem o processo de ensino, e a sua aplicação não é contextualizada, como também estes sistemas geralmente não oferecem um *feedback* automático das ações efetuadas ao longo do treinamento. Mesmo assim, o uso dos sistemas de RV tem se expandido e sido recomendado por vários órgãos relacionados à educação médica. Como principais contribuições do presente trabalho, destacam-se o desenvolvimento do sistema *SimCEC*, a definição de sua arquitetura de avaliação colaborativa, e finalmente a metodologia de planejamento e levantamento de requisitos utilizada de modo que outros pesquisadores e desenvolvedores possam se basear para a realização do planejamento de seus simuladores de RV.

Como se pôde observar ao longo do trabalho, a maior parte dos programas de treinamento cirúrgico ainda não levam em consideração a avaliação das habilidades de interação de equipes, sendo muitas vezes focados apenas os aspectos técnicos individuais (AGGARWAL, 2013). Conforme estudos apontam, o mesmo ocorre com muitos dos simuladores cirúrgicos colaborativos existentes (MACHADO; MORAES, 2013; PAIVA; MACHADO; VALENÇA, 2013), sendo o recurso da avaliação colaborativa muitas vezes desconsiderado. Segundo alguns autores (SATAVA, 2003; WIET, 2012), uma possibilidade para a ocorrência de tal fato é o pouco rigor estabelecido durante o processo de levantamento de requisitos. Portanto, a etapa de planejamento destes simuladores torna-se essencial para que tais sistemas possam de fato serem utilizados no processo educacional.

Baseando-se no levantamento de aplicações realizado no Capítulo 2, verificou-se a necessidade de serem desenvolvidos simuladores que disponibilizem o recurso da avaliação das habilidades de interação da equipe de estudantes. Pode-se observar que a carência de

pesquisas que abordem a temática do treinamento e avaliação colaborativa é justificada pelas publicações alcançadas como desdobramento desta pesquisa, elencados no Capítulo anterior. Deste modo, o treinamento com o *SimCEC* visa enfatizar tanto as habilidades técnicas individuais de cada procedimento, como também as habilidades não técnicas que se referem à interação colaborativa entre a equipe.

É importante destacar que a metodologia de planejamento utilizada visou sobretudo definir um escopo para futura utilização do simulador em programas de treinamento e educação cirúrgica nas universidades. Portanto, de modo a facilitar este processo, foram previamente definidos todos os requisitos, o fluxo de procedimentos e os conteúdos abordados. Todos os conceitos abordados e os conhecimentos especialistas envolvidos no *SimCEC* foram extraídos a partir de contatos com profissionais das áreas de saúde, na observação de procedimentos cirúrgicos reais e com base em guias de referência e manuais técnicos conhecidos e aceitos pela comunidade das áreas de saúde.

Pretende-se que o simulador possa ser utilizado em momentos específicos da grade curricular de cursos superiores (em nível de graduação) e técnicos, como ferramenta auxiliar no processo de ensino-aprendizagem dos futuros profissionais, sendo possível inclusive a integração de currículos interdisciplinares, fomentando eventualmente a interação entre os estudantes das diferentes áreas envolvidas (medicina, enfermagem e odontologia) durante o curso. Nesta perspectiva, grupos de estudantes poderão se encontrar no espaço virtual para desempenharem os papéis dos profissionais e contribuir com o aprendizado coletivo. Outra possibilidade seria a realização de treinamento à distância em regiões desprovidas de recursos para as práticas e estudo cirúrgico. O simulador poderá ser utilizado, ainda, além do contexto das universidades, por grupos de estudantes que queiram antecipar o contato prático dos princípios básicos cirúrgicos. Outro fator importante de ser observado é que, uma vez que o simulador é um sistema computacional controlado, torna-se possível a avaliação de diferentes usuários de forma padronizada e objetiva.

Também é importante destacar que ao longo do processo de planejamento do simulador, algumas dificuldades foram encontradas no que diz respeito à definição das métricas de avaliação. Observou-se que este fato se deu, uma vez que a competência cirúrgica muitas vezes é avaliada de forma subjetiva durante o processo de ensino tradicional e deste modo, muitas vezes não é estabelecido um consenso entre os guias de referência cirúrgica a respeito dos parâmetros de avaliação. Neste sentido é importante destacar, ainda, a necessidade da troca de experiências entre os membros da equipe multidisciplinar durante a fase de planejamento do projeto. Como visto anteriormente, o modelo de avaliação

desenvolvido realiza a avaliação da equipe de estudantes com base em escores para cada variável envolvida, levando-se em consideração os pesos de importância de cada procedimento. Ainda são levados em consideração pelo modelo avaliador, os possíveis erros a serem cometidos ao longo do treinamento com o simulador. Deste modo, os estudantes recebem um *feedback* de suas interações, sendo possível terem o conhecimento dos pontos falhos cometidos.

Apesar do potencial pedagógico dos simuladores de RV, em especial daqueles que disponibilizam o recurso da avaliação, e apesar de haverem comprovações do sucesso do treinamento em RV como anteriormente apresentado, tais sistemas não possuem como meta a substituição dos métodos tradicionais de ensino ou a diminuição da importância do contato entre alunos e professores, mas sim auxiliar no processo de ensino-aprendizagem em saúde. Finalmente, é importante destacar que o *SimCEC* poderá ser inserido de fato numa abordagem curricular daqueles cursos que se baseiem nos manuais e guias de referência cirúrgicos conhecidos e que foram utilizados em seu planejamento.

7.1 TRABALHOS FUTUROS

Nesta seção, são elencadas as possibilidades de expansão do projeto, mais particularmente no contexto do simulador desenvolvido. A primeira sugestão de trabalho futuro apontada diz respeito à necessidade de validação do uso desta ferramenta com o público-alvo, de modo a se avaliar o seu impacto no processo de aprendizagem por parte dos estudantes. Esta validação pode ser conduzida em disciplinas básicas de cursos de graduação e que tenham relação com a temática do simulador, tais como fundamentos de anestesiologia geral, instrumentação cirúrgica, biossegurança, dentre outras.

No contexto dos recursos disponíveis pelo simulador, poderia ser acrescentada a funcionalidade de comunicação por voz sobre IP (*VoIP*), que permite a conversação humana sobre os serviços da *Internet*. Esta funcionalidade poderia ser implementada com os recursos da própria *Game Engine* utilizada (*Unity 3D*), bibliotecas separadas ou mesmo ser efetuada a integração com *softwares* já existentes como o caso do *Skype*, por exemplo.

Finalmente, outras possibilidades de expansão envolvem algumas alterações no escopo do projeto, sendo possível o desenvolvimento de uma versão do *SimCEC* voltada para um público-alvo com maior conhecimento. Neste sentido, a simulação poderia envolver conteúdos a nível de especialização (pós-graduação), sendo o nível de detalhamento dos procedimentos simulados aprofundado e sendo possível a inclusão de dispositivos de

interação não convencionais de RV como os hápticos e de rastreamento. Deste modo, o treinamento no simulador poderia ocorrer de forma contínua abrangendo outros níveis de conhecimento. Neste caso, a arquitetura de avaliação colaborativa no futuro poderá ser expandida, com a inclusão de métricas mais detalhadas para casos cirúrgicos considerados mais complexos. Outra possibilidade é a simulação de outras etapas cirúrgicas, além da etapa pré-operatória.

REFERÊNCIAS

- ANDREW, B.; PLACHTA, S.; SALUD, L.; PUGH, C.M. Development and evaluation of a decision-based simulation for assessment of team skills. **Surgery**, v. 152, n. 2, p. 152–7, 2012. doi:10.1016/j.surg.2012.02.018.
- ADOBE - Adobe Fireworks CS6. Disponível em: <<http://www.adobe.com/products/fireworks.html>>. Acessado em: 20 de ago. de 2013.
- AGGARWAL, R. The simulated operating theatre: comprehensive training for surgical teams. **Quality and Safety in Health Care**, v.13, n.1, p. 27–32, 2004.
- AGGARWAL, R.; Ph, D. Simulation for ward processes of surgical care. **The American Journal of Surgery**, v.206, n.1, p. 96–102, 2013.
- ALBERIO, M. de V.; OLIVEIRA, J. C. ACOnteCe-Cardio: um Ambiente COlaborativo para Treinamento em Cirurgia Cardíaca. In: **VIII Symposium on Virtual Reality (SVR2006)**, Belém, PA. Anais do VIII Symposium on Virtual Reality (SVR2006), p. 397-408, 2006.
- AO Foundation. AO Surgery Reference. Disponível em: <<https://www2.aofoundation.org/wps/portal/surgery>>. Acessado em: 20 de ago. de 2013.
- BENFORD, S.; GREENHALGH, C.; RODDEN, T.; PYCOCK, J. Collaborative virtual environments. **Communications of the ACM**, v. 44, n.7, p. 79–85, 2001.
- BROEREN et al Virtual reality and haptics as an assessment device in the postacute phase after stroke. **Cyberpsychology & Behavior**, v. 5, n. 3, p. 207-211, 2002.
- BURDEA, G.C.; COIFFET, P. **Virtual Reality Technology**. Ed. John Wiley & Sons., 2º ed, 2003.
- BURDEA, G.C. et al Virtual Reality Training for the Diagnosis of Prostate Cancer. **Proceedings of IEEE Virtual Reality Annual International Symposium**, p. 190-197, 1998.
- CECIL, J. et al Collaborative virtual environments for orthopedic surgery. **2013 IEEE International Conference on Automation Science and Engineering (CASE)**, p.133–137, 2013. doi:10.1109/CoASE.2013.6654045.
- CHODOS, D. et al Healthcare education with virtual-world simulations. In **Proceedings of the 2010 ICSE Workshop on Software Engineering in Health Care - SEHC '10**, New York, New York, USA: ACM Press, p. 89–99, 2010. doi:10.1145/1809085.1809097.
- COSMAN, P. H.; CREGAN, P.; MARTIN, C.J.; MARTMILL, J.A. Virtual Reality Simulators: Current Status in Acquisition and Assessment of Surgical Skills. **ANZ Journal of Surgery**, v. 72, 30–34, 2002.

COTE, M.; BOULAY, J. Virtual Reality Simulator for Scoliosis Surgery Training : Transatlantic Collaborative Tests. **IEEE International Workshop on Haptic Audio Visual Environments and their Applications (HAVE 2008)**, p. 18–19, Outubro, 2008.

DALEY, B.J., TORRE, D.M. Concept maps in medical education: an analytical literature review. **Medical Education**, v. 44, n.5., p.440-448, 2010.

DEV, P. et al Simulated Medical Learning Environments on the Internet. **Journal of the American Medical Informatics Association**, v. 9, n. 5, p.437-447, 2002.

DEV, P.; HEINRICHS, W.L.R. Learning medicine through collaboration and action: collaborative, experiential, networked learning environments. **Virtual Reality**, v.12, n.4, p.215–234, 2008.

DUVAL, T. et al SkeweR: a 3D Interaction Technique for 2-User Collaborative Manipulation of Objects in Virtual Environments. **Proceedings of 3DUI'06**, ISBN:1-4244-0224-7, Virgínia, Estados Unidos, p. 69-72, 2006.

FISHER, H. Multicast issues for collaborative virtual environments. **Computer Graphics and Applications**, v.22, n.5, p. 68-75, 2002.

FITZGERALD, M.; RIVA, G. **Virtual Reality**. BEOLCHI, L. Telemedicine Glossary, European Commission-DG INFSO, p. 327-329, 2001.

FOLEY, J. et al **Computer Graphics: principles and practice**. Addison Wesley, 2º edição, 1990.

GAMMA, E. et al **Padrões de Projeto**. Editora Bookman. Porto Alegre, 2000.

GALLAGHER, A.G. et al Virtual Reality training in laparoscopic surgery: A preliminary assessment of minimally invasive Surgical trainer Virtual Reality (MIST VR). **Endoscopy**, v.31, n.4, p.310-313, 1999.

GIUSEPPE MEGALI et al Modelling and Evaluation of Surgical Performance Using Hidden Markov Models. **IEEE Transactions on Biomedical Engineering**, v. 53, n.10, 2006.

GOMES, A.C.A. et al Tratamento das fraturas mandibulares: Relatos de caso clínico. **Rev. Cir. Traumat. Buco - Maxilo-Facial**, v.1, n.2, p. 31-38, 2001.

GUNN, C., et al Using collaborative haptics in remote surgical training. **Eurohaptics Conference e Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems**, p.481-482, 2005.

HAMZA-LUP, F. G.; LAMBETH, B. M.; LAPLANT, J. Collaborative haptic environment assessment. **World Haptics 2009 - Third Joint EuroHaptics conference and Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems**, v.13, n.1, p.397–8, 2009.

HEIRINRICHS, W.L. et al Simulation for team training and assessment: case studies of online training with virtual worlds. **World Journal of Surgery**, v.32, n.2, p. 161-170, 2008.

HUANG, J. et al, Fuzzy Classification: Towards Evaluating Performance on a Surgical Simulator. In: **Studies in Health Technology and Informatics**. v.13, p. 194-200, 2005.

JONES, D. B. The current role of simulators in teaching surgical techniques. **Journal of gastrointestinal surgery : official journal of the Society for Surgery of the Alimentary Tract**, v.15, n.10, p.1718–21, 2011.

LAMMERS, R. L. et al, Teaching and assessing procedural skills using simulation: metrics and methodology. **Academic emergency medicine : official journal of the Society for Academic Emergency Medicine**, v. 15, n. 11, p. 1079–87. doi:10.1111/j.1553-2712.2008.00233.x

LEACH, L. S.; MYRTLE, R. C.; WEAVER, F.; DASU, S. Assessing the performance of surgical teams. **Health care management review**, v.34, n.1, p. 29–41, 2009.

LOUKAS, C.; GEORGIU, E. Multivariate autoregressive modeling of hand kinematics for laparoscopic skills assessment of surgical trainees. **IEEE transactions on bio-medical engineering**, v.58, n.11, p.3289–97, 2011.

KIRNER, C.; SISCOUTO, R. Fundamentos de Realidade Virtual e Aumentada. In: Kirner, C.; Siscouto, R.. (Org.). **Realidade Virtual e Aumentada: Conceitos, Projeto e Aplicações**. 1 ed. Porto Alegre - RS: Sociedade Brasileira de Computação - SBC, v. 1, p. 2-21, 2007.

KUMAGI, K. et al A New Force Based Objective Assessment of Technical Skills in Endoscopic Sinus Surgery. In: **Studies in Health Technology and Informatics** 15, v.125, p. 235-237, 2007.

MCDONALD, C. L.; CANNON-BOWERS, J.; BOWERS, C. Pulse!!: Designing Medical Learning in Virtual Reality. **Handbook of Research on Human Performance and Instructional Technology**, 17 pages, 2010. doi:10.4018/978-1-60566-782-9.ch023.

MACHADO, L.S.; MORAES, R.M. Intelligent Decision Making in Training Based on Virtual Reality. Book Chapter. In: Da Ruan. (Org.) **Computational Intelligence in Complex Decision Systems**, cap 4. Paris: Atlantis Press, 2010.

MACHADO, L.S.; MORAES, R.M. Multiple Assessment for Multiple Users in Virtual Reality Training Environments. **Lecture Notes in Computer Science**, v. 4756, p. 950-956. Springer, 2007.

MACHADO, L.S.; MORAES, R.M. Evaluation of Collaborative Activities in Medical Simulators based on Virtual Reality In: **Symposium on Virtual and Augmented Reality**, Cuiabá/MT - Brazil. p. 244-247, 2013.

MACKEL, T. et al Data Mining of the E-Pelvis Simulator Database: A Quest for a Generalized Algorithm for Objectively Assessing Medical Skill. In: **Proc. of Virtual and Augmented Reality** 14, p. 355-360, 2006.

MARGERY, D. et al A General Framework for Cooperative Manipulation in Virtual Environments. **Virtual Environments**, Springer, v.44, n.7, p. 79-85, 1999.

MARR et al Team play in surgical education: a simulation-based study. **Journal of surgical education**, v. 69, n. 1, p. 63–9, 2012. doi:10.1016/j.jsurg.2011.07.002

MARSHALL, A. et al Providing QoS for networked peers in distributed haptic virtual environments. **Advances in Multimedia**, v.08, 14 páginas, 2008.

MORAIS, A.M. Planejamento e desenvolvimento de um serious game voltado ao ensino de saúde bucal em bebês. [Dissertação]. João Pessoa/PB: Departamento de Estatística, Universidade Federal da Paraíba, 2011.

MANI, G., LI, W. 3D web based surgical training through comparative analysis. **Proceedings of the 18th International Conference on 3D Web Technology - Web3D '13**, p. 83, 2013. doi:10.1145/2466533.2466553.

MORRISON, S. **A second chance for Second Life**. The Wall Street Journal. Outubro 2009.

MORAES, R.M; MACHADO, L.S. Hidden Markov Models for Learning Evaluation in Virtual-Reality Simulators. **International Journal of Computers Applications**. v.25, n.3, p.212 - 215, Canadá, 2003.

MORAES, R.M; MACHADO, L.S. Maximum Likelihood for Online Evaluation of Training Based on Virtual Reality. In: **Proc. of Global Congress on Engineering and Technology Education (GCETE2005)**. p.299-302, 2005.

MORAES, R.M et al Online Assessment of Training in Virtual Reality Simulators Based on General Bayesian Networks. In: **Proc. International Conference on Engineering and Computer Education (ICECE2009)**. Buenos Aires, Argentina, 2009a.

MORAES, R.M; MACHADO, L.S. Fuzzy Continuous Evaluation in Training Systems Based on Virtual Reality. In: **Proc. of 2009 IFSA World Congress**, Lisboa, p. 102-107, 2009b.

MORAES, R.M.; MACHADO, L.S. Simultaneous assessment of teams in collaborative virtual environments using Fuzzy Naive Bayes. **2013 Joint IFSA World Congress and NAFIPS Annual Meeting (IFSA/NAFIPS)**, p. 1343–1348, 2013.

MORAES, R.M.; MACHADO, L.S. Assessment of collaborative medical training based on virtual reality using Possibilistic Networks. In: **XI Safety, Health and Environment World Congress - SHEWC'2011**. Santos/SP. p. 46-50, 2011.

MORAES, R.M.; MACHADO, L.S. A New Architecture for Assessment of Multiple Users in Collaborative Medical Training Environments Based on Virtual Reality . In: **10th International FLINS Conference 2012. Istanbul - Turkey. Uncertainty Modeling in Knowledge Engineering and Decision Making**. New Jersey: World Scientific, v.7, p. 1119-1124, 2012.

MIKROPOULOS, T.; NATSIS, A. Educational virtual environments: A ten-year review of empirical research (1999–2009). **Computers & Education**, v.56, n.3, p. 769–780, 2011.

MONTOYA, M. M.; MASSEY, A. P.; LOCKWOOD, N. S. 3D Collaborative Virtual Environments: Exploring the Link between Collaborative Behaviors and Team Performance. **Decision Sciences**, v.42, n.2, p.451–476, 2011.

NEAPOLITAN, R.E. **Learning Bayesian Networks**, Prentice Hall. Series in Artificial Intelligence, 2003.

OLIVEIRA, J.C.; GEORGANAS, N.D. VELVET: An Adaptive Hybrid Architecture for Very Large Virtual Environments. **Journal PRESENCE: Teleoperators and Virtual Environments**, MIT Press, v. 12, n. 6, p. 555-580, 2003.

OPNET Modeler **Simulador de aplicações em redes OPNET Modeler**. website. Disponível em: <http://www.opnet.com/solutions/network_rd/modeler.html>. Acessado em 02/2012.

PAIVA, P.V.F.; MACHADO, L.S.; OLIVEIRA, J.C. An Experimental Study on CHVE's Performance Evaluation. **Studies in Health Technology and Informatics**, v.173, p. 328-330. IOS Press, 2012a.

PAIVA, P.V.F.; MACHADO, L.S.; OLIVEIRA, J.C. A peer-to-peer Multicast Architecture for Supporting Collaborative Virtual Environments (CVEs) in Medicine. In: **Symposium on Virtual and Augmented Reality**. Niterói/RJ, Brasil, p. 165-173., 2012b.

PAIVA, P.V.F.; MACHADO, L.S.; OLIVEIRA, J.C. Simulation and Performance Analysis of the Collaborations Module in a VR framework. In: **Symposium on Virtual and Augmented Reality**, Uberlândia/MG, 2011.

PAIVA, P.V.F.; MACHADO, L.S. Um Estudo sobre Manipulação Cooperativa em Ambientes Virtuais Colaborativos. In: **VII Workshop de Realidade Virtual e Aumentada**, São Paulo, Brasil, p. 185-190, 2010.

PAIVA, P.V.F.; GADELHA, R.; MACHADO, L.S.; SANTOS, S.R. Potencialidades da Educação em Saúde Baseada em Realidade Virtual. **Revista Eletrônica de Comunicação, Informação & Inovação em Saúde (RECIIS)** v. 7, n. 806, 2013.

PAIVA, P.V.F.; MACHADO, L.S.; VALENÇA, A.M. A Virtual Environment for Training and Assessment of Surgical Teams In: **Symposium on Virtual and Augmented Reality**. Cuiabá/MT - Brazil. p. 17-26, 2013. DOI: 10.1109/SVR.2013.22.

PAIVA, P.V.F.; MACHADO, L.S.; VALENÇA, A.M. Uma Proposta de Serious Game para o Ensino de Biossegurança em Odontologia. In: **Pesquisa Brasileira de Odontopediatria e Clínica Integrada (PBOCI)**, João Pessoa, v. 13, n. 2, p. 135-39, 2014.

PALTER, V.N.; GRANTCHAROV, T. P. Virtual reality in surgical skills training. **The Surgical clinics of North America**, v.90, n.3, p. 605–17, 2010.

PARRA; SAAD. Instrumentação Cirúrgica - 3º edição, 1988.

PARUSH, A. et al. Communication and team situation awareness in the OR: Implications for augmentative information display. **Journal of biomedical informatics**, v. 44, n. 3, p. 477–85, 2011. doi:10.1016/j.jbi.2010.04.002.

PINELLI, C. et al. Biossegurança e Odontologia: crenças e atitudes de graduandos sobre o controle de infecção cruzada. **Saúde Soc**, v. 20, n. 2, p. 448-61, 2011.

PINHO, M. S.; BOWMAN, D.; FREITAS, C. M. D. S. Cooperative object manipulation in collaborative virtual environments. **Journal of the Brazilian Computer Society**, v.14, n.2, p.53–67, 2008.

REIS, R. J. et al Virtual Reality Environments in Surgical Training – Introducing the Pre, Trans and Postoperative Virtual Environment (OPVIR). **Brazilian Journal of Videoendoscopic Surgery**, v.3, n.3, p.126-133, 2010.

RUDDLE et al Symmetric and Asymetric Action Integration During Cooperative Object Manipulation in Virtual Environments. In: **ACM Transactions on Computer-Human Interaction**, Hong Kong, p. 285-308, 2002.

SALES, B. R. A. **Colaboração em Sistemas de Realidade Virtual voltados ao Treinamento Médico: um Módulo para o Framework CyberMed**. Dissertação (Mestrado em Informática), Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2010.

SANFEY, H.; MCDOWELL, C.; MEIER, A.H.; DUNNINGTON, G. L. Team training for surgical trainees. **The surgeon : Journal of the Royal Colleges of Surgeons of Edinburgh and Ireland**, v. 9, n. 1, p. 32–4. doi:10.1016/j.surge.2010.11.018.

SANTOS, A. D. **Simulação Médica baseada em Realidade Virtual para Ensino e Treinamento em Ginecologia**. Dissertação (Mestrado em Informática), Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2010.

SANTOS, A. D.; GOMES, R. G. S.; MACHADO, L. S.; MORAES, R. M. A fuzzy logic based assessment tool for VR simulated medical environments. In: **Proc. X Safety, Health and Environment World Congress**, 2010a.

SANTOS, A. D.; GOMES, R. G. S.; MACHADO, L. S.; MORAES, R. M. Avaliação baseada em lógica fuzzy para um framework voltado à construção de simuladores baseados em RV. In: **Symposium on Virtual and Augmented Reality**, p. 194–202, 2010b.

SATAVA, R. M.; GALLAGHER, A. G.; PELLEGRINI, C. A. Surgical competence and surgical proficiency: definitions, taxonomy, and metrics. **Journal of the American College of Surgeons**, v.196, n.6, p. 933–7, 2003.

SHEN, X.; ZHOU, J.; HAMAM, A.; NOURIAN, S.; EL-FAR, N. R.; MALRIC, F.; GEORGANAS, N. D. Haptic-Enabled Telementoring Surgery Simulation. **IEEE Multimedia**, v.15, p. 64–77, 2008.

SINGHAL, S.; ZYDA, M. **Networked Virtual Environments: Design and Implementation**, ACM Press/Addison-Wesley Publishing Co, Nova Iorque, Estados Unidos, 1999.

SUEBNUKAN, S. Intelligent tutoring system for clinical reasoning skill acquisition in dental students. **Journal of dental education**, v.73, n.10, p.1178–86, 2009.

TAEKMAN, J.M. et al. 3DiTeams – Healthcare team training in a virtual environment. **The Journal of the Society for Simulation in Healthcare**, v.3, n.5, p. 112, 2008.

TANENBAUM, A. S. **Redes de Computadores**, Editora Campus, Brasil, 2003.

UNITY3D - Ambiente de Desenvolvimento de Jogos. Disponível em: <<http://portuguese.unity3d.com/>>. Acessado em: 15 de ago. de 2012.

VASCONCELOS MMVB et al Avaliação das Normas de Biossegurança nas Clínicas Odontológicas da UFPE. **Odontol Clín-Cient**, v. 8, n. 2, p. 151-156, 2009.

VANKIPURAM, A. et al Design and Development of a Virtual Reality Simulator for Advanced Cardiac Life Support Training. **IEEE journal of biomedical and health informatics**, 2013. doi:10.1109/JBHI.2013.2285102.

VICIANA-ABAD, R.; REYES-LECUONA, A. Patient modelling using expert systems for medical training simulations based on virtual reality. **7th International Conference on Virtual Reality**, VRIC - LAVAL VIRTUAL, 2005.

WEI, S.; WEN-QI, Z. Virtual Reality technology in modern medicine. **International Conference on Audio, Language and Image Processing**, p.557–561, 2010.

WHO - World Health Organization. Guidelines on Hand Hygiene in Health Care. First Global Patient Safety Challenge Clean Care is Safer Care 2005-2006. Disponível em:<http://www.who.int/patientsafety/information_centre/Last_April_versionHH_Guidelines%5B3%5D.pdf>. Acessado em: 10 de jul. de 2013.

WHO - World Health Organization. Guidelines for Safe Surgery 2009. Safe Surgery Saves Lives. Disponível em: <http://whqlibdoc.who.int/publications/2009/9789241598552_eng.pdf>. Acessado em: 10 de jul. de 2013.

WIET, G.; HITTLE, B.; KERWIN, T.; STREDNEY, D. Translating surgical metrics into automated assessments. **Studies in Health Technology and Informatics**, v.173, p.543-8, 2012.

WILSON, M.S. et al. MIST VR: a virtual reality trainer for surgery assesses performance. **Annals of the Royal College of Surgeons of England**, v.79, p. 403-404, 1997.

WOO, M. *et al.* **OpenGL Programming Guide**, 3º edição. ed. Addison Wesley, 1999.

YULE, S. et al. Non-technical skills for surgeons in the operating room: A review of the literature. **J. Surgery**, v.139, p.140–149, 2006.

XML. Acessado em: Janeiro de 2013. Disponível em: <http://www.w3.org/XML/>

3DWAREHOUSE. Acessado em: Janeiro de 2013. Disponível em: <http://www.w3.org/XML/>

ZADEH, L.A. Fuzzy Sets. **Information Control**. v.8, n. 3, p. 338-353, 1965.

Apêndice A - Tabela contendo os escores gerados na simulação de diferentes casos

Casos simulados	<i>I</i>	<i>C</i>	<i>A</i>	<i>Ha</i>	<i>Hi</i>	<i>Hc</i>	<i>B</i>	<i>nBer</i>	<i>Ei</i>	<i>nCols</i>	<i>nSaidas</i>	<i>mov</i>	<i>T</i> (min.)	<i>e1</i>	<i>e2</i>	<i>e3</i>	<i>e4</i>	<i>Eq</i>
Melhores																		
1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	10.0
2	1	1	1	1	1	1	1	0	1	8	25	0	0	0	0	0	0	7.03
3	0.8	1	1	1	1	1	1	0	0.9571	0	0	0	0	0	0	0	0	9.7
4	1	1	0.8	1	1	1	1	0	0.9571	0	0	0	0	0	0	0	0	9.7
5	1	0.5	1	1	1	1	1	0	0.7142	0	0	0	0	0	0	0	0	8.0
Intermediários																		
6	1	1	1	0	0	0	0	5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	7
7	1	0.5	1	1	1	1	1	0	0.7142	0	0	0	30	0	0	0	0	5.0
8	1	0	1	1	1	1	1	0	0.4285	0	0	0	0	0	0	0	0	6.0
Piores																		
9	1	1	1	1	1	1	0.85	5	1	2	5	0	50	0	0	0	0	2.255
10	0	0	0	1	1	1	0.85	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.55
11	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	80	0	0	0	0	2.4
12	0.55	0.55	1	1	1	1	0.85	5	0.6464	0	0	0	0	1	0	0	0	2.575
13	0.55	0.55	1	0.5	0.25	0	0.25	0	0.6464	0	0	0	0	1	0	0	0	0.7750
14	0	0.55	1	1	1	1	1	0	0.5285	0	0	0	0	1	0	0	0	2.2
15	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0
16	0.55	0.1	0.55	1	1	1	1	0	0.2928	0	0	0	0	1	1	0	0	0.0
17	0.1	0	0.55	1	1	1	1	0	0.1392	0	0	0	0	1	1	1	0	0.0