

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA NATUREZA
DEPARTAMENTO DE INFORMÁTICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM INFORMÁTICA

Aplicando Sistemas Hápticos em *Serious Games*: Um Jogo para a Educação em Higiene Bucal

Herbet Ferreira Rodrigues

João Pessoa

2011

Herbet Ferreira Rodrigues

**Aplicando Sistemas Hápticos em
Serious Games: Um Jogo para a
Educação em Higiene Bucal**

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

Orientador(a): Profa. Dra. Liliane dos Santos Machado

João Pessoa

2011

R696a Rodrigues, Herbet Ferreira.

Aplicando Sistemas Hápticos em *Serious Games*: Um Jogo para a Educação em Higiene Bucal / Herbet Ferreira Rodrigues. - - João Pessoa: [s.n.], 2011.

156f. : il.

Orientadora: Liliâne dos Santos Machado.

Dissertação (Mestrado) - UFPB/CCEN.

1. Sistemas Hápticos. 2. *Serious Games*. 3. Odontologia - Jogos. 4. Desenvolvimento de Jogos. 5. Higiene bucal.

UFPB/BC

CDU: 004

Ata da Sessão Pública de Defesa de Dissertação de
Mestrado do HERBET FERREIRA RODRIGUES,
candidato ao Título de Mestre em Informática na
Área de Sistemas de Computação, realizada em 23
de março de 2011.

Aos vinte e três dias do mês de março do ano dois mil e onze, às quatorze horas, na Sala de Reunião do Centro de Ciências Exatas e da Natureza da Universidade Federal da Paraíba, reuniram-se os membros da Banca Examinadora constituída para examinar o candidato ao grau de Mestre em Informática, na área de “*Sistemas de Computação*”, na linha de pesquisa “*Processamento de Sinais e Sistemas Gráficos*”, o Sr. Herbert Ferreira Rodrigues. A comissão examinadora composta pelos professores doutores: Liliane dos Santos Machado (DI - UFPB), Orientador e Presidente da Banca Examinadora, Tatiana Aires Tavares (DI-UFPB) e Ana Maria Gondim Valença (UFPB) como examinadores internos e Maria Teresa Restivo (Universidade de Porto/Portugal) como examinador externo. Dando início aos trabalhos, a Prof^a. Liliane dos Santos Machado, cumprimentou os presentes, comunicou aos mesmos a finalidade da reunião e passou a palavra ao candidato para que o mesmo fizesse, oralmente, a exposição do trabalho de dissertação intitulado “*Aplicando Sistemas Hápticos em Serious Games: Um Jogo para Educação em Higiene Bucal*”. Concluída a exposição, o candidato foi argüido pela Banca Examinadora que emitiu o seguinte parecer: “*aprovado*”. Assim sendo, deve a Universidade Federal da Paraíba expedir o respectivo diploma de Mestre em Informática na forma da lei e, para constar, a professora Tatiana Aires Tavares, Sra. Coordenadora do PPGI, lavrou a presente ata, que vai assinada por ela, e pelos membros da Banca Examinadora. João Pessoa, 23 de março de 2011.

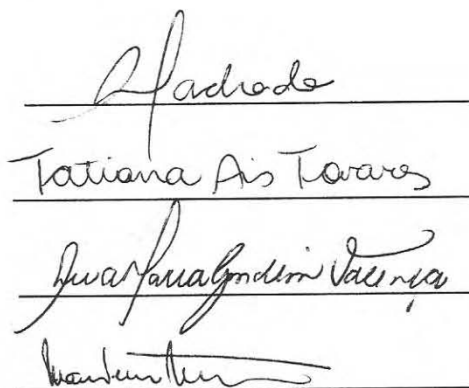
Tatiana Aires Tavares

Prof^a. Dra. Liliane dos Santos Machado
Primeiro Orientador (DI-UFPB)

Prof^a. Dr^a. Tatiana Aires Tavares
Examinador Interno (DI-UFPB)

Prof^a. Dr^a. Ana Maria Gondim Valença
Examinador Interno (UFPB)

Prof^a. Dr^a. Maria Teresa Restivo
Examinador Externo (Universidade do Porto)



The block contains four handwritten signatures, each on a horizontal line. From top to bottom: 1. A signature that appears to be 'Liliane dos Santos Machado'. 2. A signature that appears to be 'Tatiana Aires Tavares'. 3. A signature that appears to be 'Ana Maria Gondim Valença'. 4. A signature that appears to be 'Maria Teresa Restivo'.

Agradecimentos

Este trabalho marca o fim de uma jornada de dois anos e uma das fases mais importantes da minha vida. Vou aproveitar este espaço para agradecer a todos que contribuíram nesta jornada.

Primeiramente, agradeço a Deus, por estar presente em todos os momentos da minha vida.

Em especial, agradeço a minha orientadora, Liliane dos Santos Machado, pela confiança, dedicação, paciência e por compartilhar suas experiências e ensinamentos que foram de grande importância para mim e para a realização deste trabalho.

Aos meus pais, Almir e Ivone, por tudo que fizeram e fazem por mim, pelo apoio, confiança, sabedoria, carinho, cuidado, compreensão, acessibilidade, disposição e incentivo durante toda minha vida, e pelo amor no qual sempre me proporcionaram.

À minha namorada Natália, por todo amor, carinho, preocupação, paciência e compreensão incondicionais. Agradeço por ser a pessoa que mais me faz feliz. Agradeço também por seu auxílio, desta vez diretamente durante a fase de escrita deste trabalho.

A todos os meus amigos do LabTEVE os quais me acompanharam de perto durante o mestrado. Em especial agradeço a Alana, Azuila, Aline, Eduardo e Daniel Pires pelos momentos de descontração nas viagens, pelo acolhimento, pela compreensão e por todo apoio e ajuda nesta caminhada.

Agradeço também a todos os professores e amigos que contribuíram na minha pesquisa com sugestões e materiais, colocando-se à disposição para o auxílio, em particular Ana Maria Gondim Valença, Ronei Marcos de Moraes, Tatiana Aires Tavares e Diego Gomes Brandão.

Finalmente, agradeço ao CNPq pelo apoio financeiro (133693/2009-0) e a todos que participaram voluntariamente dos testes do protótipo do jogo durante a fase de desenvolvimento. Muito Obrigado!

Resumo

Aliado à Realidade Virtual, a incorporação de sistemas hápticos possibilita ampliar o nível de realismo e oferecer uma forma mais eficiente de envolvimento, trazendo melhores resultados na realização das atividades de natureza tátil inseridas em aplicações e jogos. Entretanto, poucos são os incentivos da aplicação destes dispositivos em *serious games*. O desenvolvimento dos *serious games* em ambientes imersivos e a inclusão de dispositivos não convencionais, como dispositivos hápticos, podem contribuir para a motivação e aprendizado do jogador. Desta forma, este trabalho traz como principal objetivo a concepção, estudo, investigação, desenvolvimento e discussão da aplicação de sistemas hápticos em *serious games*, mais especificamente na construção de um jogo para a área Odontológica relacionada à higiene bucal de adultos, podendo este, ser utilizado para propiciar o entendimento melhor dos conceitos, como também, na fixação de técnicas de escovação e procedimentos envolvidos. Entretanto, o desenvolvimento de um *serious game* necessita de uma equipe multidisciplinar no qual profissionais da área que o conteúdo do jogo se relaciona precisa estar em constante comunicação com a equipe de *design* e desenvolvimento. Desta forma, também é proposto e testado neste trabalho, um modelo de processo para o desenvolvimento de *serious games* que visa alcançar um bom conjunto de abordagem, conteúdo e tecnologia para o correto planejamento e especificação do jogo.

Palavras-chave: sistemas hápticos, *serious games*, jogos para Odontologia, higiene bucal, processo de desenvolvimento de jogos.

Abstract

Associate to Virtual Reality, the incorporation of haptic systems makes possible to extend the level of realism and provide a more efficient way of involvement, bringing better results in performing the activities of tactile nature embedded in applications and games. However, there are few incentives for implementing these devices in serious games. The development of serious games in immersive environments and the inclusion of non-conventional devices such as haptic devices, may contribute to the motivation and learning of the player. This work has as main objective the design, study, research, development and discussion of the incorporation of haptic systems in serious games, specifically in Odontology related to adult's oral hygiene. Though, the serious games development needs a multidisciplinary team. Thus, this work also proposes and tests a serious game development process which aims to achieve a good set of approach, content and technology for a correct planning and specification of the game.

Keywords: haptic systems, serious games, games in dentistry, oral health, game development process.

Lista de Figuras

Figura 1. Relação entre as equipes de desenvolvimento e especialista	29
Figura 2. Comparação entre o mouse e o dispositivo háptico.	31
Figura 3. Dispositivos hápticos com interatividade limitada.	32
Figura 4. Luva de dados CyberGrasp TM	34
Figura 5. Dispositivos hápticos da <i>Novint Technologies Inc.</i>	35
Figura 6. Dispositivos hápticos desenvolvidos pela <i>SensAble Technologies Inc.</i> ..	35
Figura 7. Graus de liberdade do PHANToM <i>Omni</i>	36
Figura 8. Força mola representada graficamente.	39
Figura 9. Telas de <i>The Incredible Adventures of the Amazing Food Detective</i> . ..	44
Figura 10. Criança jogando uma partida de futebol com o <i>WiiFit</i>	45
Figura 11. Visualização do JDoc.....	46
Figura 12. Telas de jogos <i>online</i> sobre Odontologia.....	47
Figura 13. Telas do jogo <i>Glenn Martin, DDS: Dental Adventure</i>	48
Figura 14. Telas do <i>Virtual Dental Implant Training (VDIT)</i>	49
Figura 15. Componentes do jogo <i>Playful Toothbrush</i>	50
Figura 16. <i>Software</i> sobre células utilizando sistemas hápticos.....	54
Figura 17. Dispositivos utilizados por Jones <i>et al.</i> , (2005a)	55
Figura 18. Virtual Reality Dental Training System.....	57
Figura 19. <i>PerioSim</i> [©] <i>Force Feedback Dental Simulator</i>	58
Figura 20. Simulador háptico para a prática de alunos de enfermagem.....	59
Figura 21. Usuário utilizando o jogo <i>HapitCast</i>	61
Figura 22. Telas do jogo <i>Haptic Battle Pong</i>	62
Figura 23. Telas do jogo <i>HapticCycle</i>	63
Figura 24. Telas do jogo de sinuca com Háptico.	63
Figura 25. Integração de sistemas hápticos em jogos.	65
Figura 26. Estrutura do <i>Serious Game Unified Process (SGUP)</i>	71
Figura 27. Técnicas de escovação.	74
Figura 28. Modelos virtuais da boca e escova de dente.	78
Figura 29. Esferas com propriedades materiais diferentes.....	78
Figura 30. Movimentos realizados pelos usuários.....	79
Figura 31. Usuário interagindo com o protótipo do jogo.	81
Figura 32. Percepção dos usuários sobre as propriedades materiais.....	82

Figura 33. Distribuição dos usuários de acordo com a faixa etária.	83
Figura 34. Distribuição dos usuários de acordo com o gênero.....	83
Figura 35. Modelos virtuais utilizados para as tarefas.....	85
Figura 36. Arquitetura da biblioteca <i>OpenHaptics Toolkit</i>	87
Figura 37. Arquitetura do sistema em alto nível.	97
Figura 38. Diagrama de classes do jogo.	98
Figura 39. Fluxo de dados entre os Módulos Físico e Háptico.....	99
Figura 40. Trecho de código utilizando <i>Critical Sections</i>	100
Figura 41. Exemplo da base de dados em XML.	101
Figura 42. Representação gráfica das etapas da renderização háptica.	103
Figura 43. Trecho de código referente ao cálculo da Lei de <i>Hooke</i>	104
Figura 44. Áreas de pontuação	104
Figura 45. Esboço simplificado do fluxo das telas do jogo.	105
Figura 46. Diagrama com o fluxo de estados.....	107
Figura 47. Tela inicial do jogo.....	112
Figura 48. Tela de opções do jogo.	113
Figura 49. Algumas telas de tarefas em diferentes níveis de dificuldades.....	113
Figura 50. Tela que mostra a execução de uma tarefa.....	114
Figura 51. Níveis de qualidade da escovação.	114
Figura 52. Telas de “tarefa completa” e “tarefa incompleta”	115
Figura 53. Tela de fim do jogo.	115
Figura 54. Tela de pontuação das tarefas do nível atual.	116
Figura 55. Tela final do jogo.	116

Lista de Tabelas

Tabela 1. Especificações do dispositivo PHANToM <i>Omni</i>	36
Tabela 2. Características dos <i>serious games</i> encontrados na literatura.	51
Tabela 3. Novas disciplinas criadas para o SGUP.	70
Tabela 4. Descrição das disciplinas de criação do SGUP.....	72
Tabela 5. Descrição dos movimentos de escovação da técnica oblíqua	76
Tabela 6. Níveis e tarefas definidas para o “TouchBrush Game”	84
Tabela 7. Pontuações para a análise dos motores gráficos.	90
Tabela 8. Pontuações para a análise dos motores de física.	92

Lista de Siglas

2D	Bidimensional
3D	Tridimensional
API	<i>Application Programming Interface</i>
BSP	<i>Binary Space Partitioning</i>
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CCEN	Centro de Ciências Exatas e da Natureza
CEP	Comitê de Ética e Pesquisa
CPO	Cariados, Perdidos e Obturados
CSBC	Congresso da Sociedade Brasileira de Computação
DE	Departamento de Estatística
HDAPI	<i>Haptic Device Application Programming Interface</i>
HLAPI	<i>Haptic Library Application Programming Interface</i>
HULW	Hospital Universitário Lauro Wanderley
HZ	<i>Hertz</i>
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
LABTEVE	Laboratório de Tecnologias para o Ensino Virtual e Estatística
LED	<i>Light-Emitting Diode</i>
LPC	<i>Linear Complementarity Problem</i>
ODE	<i>Open Dynamics Engine</i>
OGRE	<i>Open Source 3D Graphics Engine</i>
OMS	Organização Mundial da Saúde
OPENGL	<i>Open Graphics Library</i>
PDD	<i>PHANToM Device Drivers</i>
PHANTOM	<i>Personal Haptic Interface Mechanism</i>
RPG	<i>Role-Playing Game</i>
RUP	<i>Rational Unified Process</i>
RV	Realidade Virtual
SBC	Sociedade Brasileira de Computação
SDL	<i>Simple DirectMedia Layer</i>
SGUP	<i>Serious Games Unified Process</i>

UFPB	Universidade Federal da Paraíba
UTF-8	<i>8-bit Unicode Transformation Format</i>
VDIT	<i>Virtual Dental Implant Training</i>
VRDTS	<i>Virtual Reality Dental Training System</i>
WIM	Workshop de Informática Médica
WRVA	Workshop de Realidade Virtual e Aumentada
X11	<i>X Window System</i>
XML	<i>Extensible Markup Language</i>

Sumário

Resumo

Abstract

Lista de Figuras

Lista de Tabelas

Lista de Siglas

1	Introdução	16
1.1	Motivação.....	18
1.2	Relevância	20
1.3	Objetivos	21
1.4	Contribuição.....	21
1.5	Trabalhos Correlatos na Instituição	22
1.6	Estrutura da Dissertação	23
2	Embasamento Teórico.....	24
2.1	<i>Serious Games</i>	26
2.1.1	Classificação dos <i>Serious Games</i>	26
2.1.2	Requisitos para a Concepção dos <i>Serious Games</i>	28
2.2	Sistemas Hápticos.....	30
2.2.1	Dispositivos Hápticos	31
2.2.2	Modelagem da Cena Háptica	37
2.2.3	Renderização Háptica	37
2.2.4	Propriedades Materiais	38
2.2.5	Calibração Háptica	40
2.3	Considerações	40
3	Estado da Arte em <i>Serious Games</i> Aplicados à Odontologia e o Uso de Sistemas Hápticos em Jogos	42
3.1	<i>Serious Games</i> em Odontologia.....	46
3.1.1	Metodologia	46
3.1.2	Análise dos <i>Serious Games</i> em Odontologia	51
3.2	Uso de Sistemas Hápticos na Educação	52

3.2.1	Sistemas Hápticos na Educação em Odontologia	56
3.3	Sistemas Hápticos e o seu Uso em Jogos	61
3.3.1	Integração de Sistemas Hápticos em Jogos	64
3.4	Considerações	65
4	O <i>Serious Game</i> “TouchBrush Game”	67
4.1	Modelo de Processo de Desenvolvimento.....	68
4.1.1	Disciplinas de Criação.....	72
4.2	Aplicação do Modelo de Processo	73
4.2.1	Técnicas de Escovação	73
4.2.2	Testes com Potenciais Usuários	75
4.2.3	Definição das Tarefas e Conteúdos Pedagógicos	84
4.2.4	Tecnologias Envolvidas	86
4.3	Considerações	92
5	Desenvolvimento.....	94
5.1	Características Gerais.....	95
5.2	Arquitetura do Jogo	96
5.3	Diagrama de Classes.....	97
5.3.1	A Classe <i>Player</i>	98
5.3.2	A Classe <i>CriticalSection</i>	99
5.4	Base de Dados	100
5.5	Renderização Háptica.....	102
5.5.1	Cálculo das Forças	103
5.6	Área de Pontuação	104
5.7	Fluxos do Jogo	105
5.8	Validação do Conteúdo	109
5.9	Considerações	110
6	Resultados.....	111
6.1	Publicações	117
7	Conclusão.....	118
7.1	Discussão	121
7.2	Trabalhos Futuros.....	123
7.3	Considerações Finais.....	124

Referências Bibliográficas.....	126
Apêndice A - Formulário dos Testes com o Protótipo do Jogo.....	136
Apêndice B - Resultados do Testes.....	139
Apêndice C - <i>Game Bible</i>	144
Anexo A - Certidão.....	153
Anexo B - Termo de Consentimento.....	155

1 Introdução

Nos últimos anos, o cotidiano das pessoas tem sido influenciado pela evolução das tecnologias a partir da ampla disponibilidade de ferramentas como computadores, redes, Internet, entre outros. Neste contexto, a Computação tem oferecido diversas metodologias que ajudam na compreensão do mundo por meio das sensações visuais e auditivas. A Realidade Virtual (RV), por exemplo, vem sendo aplicada de maneira bastante diversificada em algumas áreas do conhecimento como Medicina, Engenharia e Educação. Novas aplicações surgem constantemente devido a requisições de mercado e a criatividade das pessoas. Existem diversos objetivos para os quais as aplicações de RV são desenvolvidas, como ensino, entretenimento e treinamento.

Para o ensino, por mais que a visão e a audição sejam necessárias para a plena percepção dos fenômenos físicos, é difícil para um professor, por exemplo, explicar a percepção tátil e de força de um objeto sem que os alunos experimentem de alguma forma e investiguem as características de sua rigidez, maciez, textura e forma. Esta exploração tátil é feita por meio de sistemas sensoriais táteis e cinestésicos que correspondem à distribuição espacial e temporal das forças na mão do usuário [Basdogan *et al.*, 2000]. Quando se trata deste tipo de exploração no contexto computacional, entra em cena a subárea da RV conhecida como sistemas hápticos.

Concomitante ao desenvolvimento de aplicações de RV para o ensino, a sociedade tem experimentado uma categoria particular de jogos com o objetivo de extrapolar a ideia de entretenimento e oferecer outros tipos de experiências, como as voltadas ao aprendizado e treinamento [Machado *et al.*, 2009]. Estes jogos, conhecidos como *serious games*, visam principalmente a simulação de situações comuns do cotidiano com o intuito de proporcionar o treinamento de profissionais, criar cenários críticos em empresas, conscientizar crianças, jovens e adultos, além de estimularem a imaginação e compreensão de certas dinâmicas sociais e fenômenos naturais [Blackman, 2005].

A conexão dos *serious games* à RV encontra-se na proposta da criação de jogos que possibilitem uma maior exploração de recursos computacionais. A incorporação de sistemas hápticos na realização das atividades de natureza tátil nestes jogos possibilita ampliar o nível de realismo e oferecer uma forma mais

eficiente de envolvimento, podendo trazer melhores resultados na absorção do conhecimento pelo jogador.

Este trabalho tem o intuito de investigar e aplicar os sistemas hápticos na construção de um *serious games* para a área Odontológica, mais especificamente relacionada à higiene bucal de adultos.

O trabalho define também um modelo de processo para o desenvolvimento de *serious games*, promovendo a integração multidisciplinar entre diversas áreas a fim de alcançar um bom conjunto de abordagem, conteúdo e tecnologia para um correto planejamento e especificação do jogo.

1.1 Motivação

A saúde bucal está diretamente relacionada à alimentação, moradia, trabalho, renda, meio ambiente, transporte, lazer, liberdade, acesso à informação e serviços de saúde [Porto, 2002]. Nesse sentido, a luta pela saúde bucal está intimamente relacionada à busca pela melhoria dos determinantes sociais, políticos e econômicos.

Dados recentes apontam que, cerca de 40 milhões de brasileiros já perderam todos os dentes, no qual os números aumentam com a idade e a incidência de doenças periodontais. A perda de dentição é muito maior em pessoas acima dos 65 anos, e entre os jovens, os números também são altos, cerca de 40% daqueles com faixa etária entre 15 e 19 anos já perderam pelo menos um dente, e o principal motivo, 93% dos casos segundo o Ministério da Saúde, é a cárie.

A cárie dentária é usualmente avaliada em estudos epidemiológicos a partir do índice CPO (sigla para “Cariados, Perdidos e Obturados”), composto pela soma dos dentes afetados pela cárie, estejam eles ainda não tratados (cariados), tratados (obturados) ou extraídos (perdidos). Devido ao seu caráter cumulativo ao longo dos anos, o CPO é sempre referido em relação à idade e um indicador utilizado internacionalmente é o CPO aos 12 anos, pois reflete o ataque de cárie logo no começo da dentição permanente [SB Brasil, 2010].

No caso do Brasil, em 2003 foi realizado o primeiro inquérito de saúde bucal que incluiu além de todas as 27 capitais, os municípios do interior das

cinco regiões. A pesquisa ficou conhecida como Projeto SB Brasil 2003. Naquele estudo, o CPO aos 12 anos foi igual a 2,8. Na pesquisa SB Brasil 2010, o CPO aos 12 anos ficou em 2,1, uma pequena redução de 25% em 7 anos. Entre os adolescentes de 15 a 19 anos, a média de dentes afetados é de 4,2, exatamente o dobro do número médio encontrado aos 12 anos. Esta evolução do CPO entre 12 e 15-19 anos tem sido um achado comum em outros estudos no Brasil e no mundo.

No que diz respeito aos adultos e idosos, em geral a redução no ataque de cárie é menos significativa, tendo em conta o caráter cumulativo das sequelas da doença. Entre os idosos de 65 a 74 anos, por exemplo, o CPO praticamente não se alterou, ficando em 27,1 em 2010, enquanto que, em 2003, a média era de 27,8, com a maioria correspondendo ao componente “extraído”. Entretanto, analisando os resultados para o grupo de 35 a 44 anos, observa-se que o CPO caiu de 20,1 para 16,3 – um declínio de 19%. Em linhas gerais, isso significa que a população adulta de 35 a 44 anos, ao longo dos últimos 7 anos, está tendo um menor ataque de cárie e está, também, tendo um maior acesso a serviços odontológicos para restaurações dentárias.

Em termos internacionais, úteis para comparações, o último estudo sobre doença bucal no mundo foi realizado pela Organização Mundial da Saúde (OMS) em 2004. Na ocasião, o CPO médio mundial aos 12 anos (dados ponderados de 188 países) foi de 1,6. Na região correspondente às Américas, a média ficou em 2,8 e, na Europa, em 1,6. Com relação aos adultos, esta média sobe drasticamente, ficando acima dos 13,9 para a faixa etária dos 35 a 44 anos.

Lawder *et al.* (2008) observaram que adultos tem menos acesso a informações relacionadas aos cuidados de saúde bucal e afirmam que os programas de educação em saúde têm sido mais voltados a grupos específicos como crianças, adolescentes, gestantes, portadores de necessidades especiais e idosos.

É dentro deste contexto de carência de iniciativas voltadas exclusivamente à saúde bucal em adultos que este trabalho busca realizar a concepção e o desenvolvimento de um *serious games* relacionado à higiene bucal com a utilização de sistemas hápticos como forma de interação, aproveitando as

vantagens e benefícios proporcionados pela RV aos *serious games*, incluindo características como ambientes tridimensionais e interação em tempo-real.

1.2 Relevância

Os *serious games* estão sendo aplicados em diversos setores, tais como militar, educacional, empresarial, governamental, político, religioso e artístico [Rankin e Vargas, 2008] [Barnes *et al.*, 2009]. Além do mais, um dos setores que tem mais se beneficiado do uso dos *serious games*, é o da saúde. Machado *et al.* (2009) discutem que os *serious games* são um importante aliado do ensino, treinamento e simulação para a saúde, pois as dificuldades encontradas na obtenção de materiais, validação de produtos e treinamento de pessoal, bem como a necessidade de novas abordagens para reabilitação e ensino de hábitos saudáveis, podem ser minimizadas com o uso dos *serious games*, favorecendo profissionais e pacientes.

Estudos têm mostrado que o uso de *serious games* com imersão em ambientes de RV são capazes de aliviar tensões, diminuir dores e auxiliar em processos de reabilitação psicomotora [Nunes *et al.*, 2009], como também, ratificam que o aprendizado adquirido quando jogos e aplicações são utilizados para fins de educação e treinamento, é transferido para os ambientes reais [Johnsen *et al.*, 2007].

Aliado à RV, os sistemas hápticos podem fornecer ao usuário retornos táteis na forma de vibrações ou de forças. A intenção é oferecê-los a capacidade de tocar e sentir objetos virtuais dentro de um ambiente virtual, essencialmente, proporcionando uma maior sensação de realismo no ambiente onde o usuário se encontra imerso [Burdea, 1999].

Este sentimento é importante para permitir que o usuário entenda e navegue nos ambientes virtuais de forma mais natural [Faust e Yong-Ho, 2006]. No entanto, de acordo com pesquisas realizadas e trabalhos conhecidos, ainda são poucas as iniciativas voltadas para o uso de *serious games* com a utilização de sistemas hápticos. Porém, a eficácia dos sistemas hápticos em relação a aplicações de RV na área de saúde, aumentando a sensação de presença, realismo e união, são comprovadas em diversos trabalhos [Burdea, 1999] [Basdogan *et al.*, 2000] [Jones *et al.*, 2005b] [Morris *et al.*, 2007]. Dessa forma, é

interessante o estudo e investigação em relação à aplicabilidade dos sistemas hápticos como forma de interação em *serious games* na saúde.

1.3 Objetivos

Este trabalho tem como objetivo geral a aplicação de sistemas hápticos no desenvolvimento de um *serious game* para a Odontologia, especificamente relacionado à higiene bucal de adultos. Dentro desta perspectiva, alguns passos foram delineados durante a concepção do projeto, são eles:

- Oferecer uma análise dos sistemas e jogos existentes na literatura em Odontologia com e sem utilização de sistemas hápticos;
- Estudar os conceitos e técnicas relacionados à higiene bucal de adultos para serem abordados no jogo;
- Analisar os tipos de tecnologias em sistemas hápticos e bibliotecas existentes e como adaptá-los aos *serious games*;
- Propor um modelo de processo para o desenvolvimento de *serious games*;
- Investigar entre potenciais usuários a aceitação e a facilidade de uso com um dispositivo háptico por meio de protótipos do jogo;
- Avaliar os resultados obtidos na investigação a fim de definir as especificações do jogo como jogabilidade e desafios;
- Desenvolver o jogo e validar o conteúdo junto ao especialista de Odontologia.

1.4 Contribuição

Este trabalho traz como contribuição um *serious game* relacionado à educação em higiene bucal para adultos utilizando sistemas hápticos como forma de interação. Com este jogo, pretende-se ajudar o público-alvo no entendimento melhor dos conceitos e na fixação das técnicas e dos procedimentos envolvidos relacionados a uma boa higienização bucal. Por ser um jogo livre, este pode ser obtido gratuitamente pelo site do LabTEVE (<http://www.de.ufpb.br/~labteve>) e utilizado por qualquer pessoa ou entidade que dispõe de um dispositivo háptico.

A segunda contribuição deste trabalho é um modelo de processo para o desenvolvimento de *serious games*, que tem como objetivo analisar tanto os aspectos tecnológicos, quanto os aspectos de conteúdo, procurando identificar problemas, falhas e melhorias que possam ser feitas durante o desenvolvimento do jogo e fazendo com que cada etapa desenvolvida seja aprovada entre os profissionais envolvidos.

Por fim, a discussão da aplicação dos sistemas hápticos aos *serious games* serve para elucidar sobre a importância de uma interação mais realista como fator chave para propiciar uma maior motivação do jogador e absorção dos conhecimentos utilizados nos jogos, como também, ajudar a estimular pesquisas científicas para o desenvolvimento de novos métodos de interação utilizando dispositivos hápticos à novas abordagens em relação ao roteiro dos jogos.

1.5 Trabalhos Correlatos na Instituição

Este trabalho se insere no contexto da linha de pesquisa em *Serious Games* e no projeto intitulado *Serious Games para Higiene Bucal* desenvolvido no Laboratório de Tecnologias para o Ensino Virtual e Estatística¹ da Universidade Federal da Paraíba² (LabTEVE / UFPB), cujo objetivo é desenvolver pesquisas e sistemas relacionados à realidade virtual, *serious games* e estatística para apoiar o ensino presencial e à distância por meio de ferramentas livres.

Neste contexto, um dos trabalhos relacionados ao desenvolvimento de aplicações de RV para a área de saúde consiste no *framework CyberMed* [Cunha *et al.*, 2009] que inclui funcionalidades como visualização estereoscópica, interação háptica, deformação de objetos, colaboração e avaliação do usuário.

No que concerne aos *serious games* desenvolvidos no LabTEVE, pode-se citar os da área de Matemática [Moraes *et al.*, 2008a] [Saraiva *et al.*, 2009a] [Moraes *et al.*, 2008b][Virginio *et al.*, 2009] [Morais *et al.*, 2008] e Geografia [Saraiva *et al.*, 2009b]. Destaca-se também o jogo Motrilha [Sousa, 2011] para a

¹ <http://www.de.ufpb.br/~labteve>

² <http://www.ufpb.br/>

área de Terapia Fonoaudiológica, voltado exclusivamente para terapia em deglutição atípica, e, dentro do projeto *Serious Games para Higiene Bucal*, o jogo “Mamãe na Floresta da Dentolândia” [Morais, 2011], voltado à educação em saúde bucal de bebês.

1.6 Estrutura da Dissertação

Este documento está dividido em 7 capítulos. O **Capítulo 1** apresenta o trabalho de maneira geral descrevendo sua motivação, relevância, objetivos, contribuição, trabalhos correlatos na instituição e estrutura da dissertação. No **Capítulo 2**, se encontra o embasamento teórico com os conceitos e definições relacionados aos *serious games* e aos sistemas hápticos, destacando os requisitos para o desenvolvimento de cada um deles neste projeto. O **Capítulo 3** apresenta o estado da arte em *serious games* na saúde, mais especificamente em Odontologia, como também, o uso de sistemas hápticos na educação de Odontologia, destacando sua importância no processo de ensino e aprendizagem e alguns exemplos de aplicações e jogos que utilizam esta tecnologia. A concepção e definição dos objetivos, tarefas e níveis do jogo se encontram no **Capítulo 4**, com o seu desenvolvimento inteiramente descrito no **Capítulo 5**. Os últimos capítulos fecham o documento com os resultados finais do desenvolvimento no **Capítulo 6** e as conclusões, discussão, trabalhos futuros e considerações finais no **Capítulo 7**. As informações complementares do projeto são apresentadas nos **Apêndices** e nos **Anexos** deste documento.

2 Embasamento Teórico

Com a expansão e a evolução dos computadores pessoais, os jogos eletrônicos ou digitais conquistaram um espaço importante na vida de crianças, jovens e adultos, e nos últimos anos é um dos setores que mais cresce na indústria de mídia e entretenimento [ABRAGAMES, 2008].

Na Computação, os jogos eletrônicos podem ser caracterizados por aplicações geralmente baseadas em computação gráfica cujo objetivo é prover entretenimento, ou seja, experimentação em ambientes atrativos e interativos que capturam a atenção do jogador ao oferecerem desafios que exigem níveis crescentes de destreza e habilidades [Machado *et al.*, 2009].

Além dos avanços tecnológicos que vêm permitindo uma rápida evolução na qualidade dos jogos eletrônicos, observa-se também um aumento na quantidade de plataformas disponíveis nas quais os jogos podem ser executados.

Dentre as plataformas para os jogos eletrônicos, pode-se citar os computadores pessoais, os consoles (popularmente conhecido como *video-games*), os arcades, os mini-consoles (*handhelds*) e os dispositivos móveis como aparelhos celulares, *Palms*, *Tablets*, entre outros, no qual cada uma dessas plataformas tem suas próprias características de processamento principal, vídeo, memória, dispositivos de entrada e saída e até mesmo sistemas operacionais específicos.

Existem diversos gêneros para os jogos eletrônicos como os de ação, aventura, corrida, simulação, estratégia, treinamento, dentre outros. Existem ainda jogos que são concebidos utilizando mais de um desses conceitos. Neste trabalho, é focado um tipo especial de jogo eletrônico chamado *serious games*, que possui características presentes em mais de um dos gêneros citados acima. Os *serious games* unem características de um ambiente de simulação às características oferecidas pelos jogos eletrônicos. Isso torna os *serious games* um ambiente mais sofisticado e imersivo para a aprendizagem comparada às formas tradicionais de ensino [Silva, 2005]. Além disso, a introdução de sistemas hápticos pode estender ainda mais essas características, aumentando o engajamento e a motivação do usuário, além de adicionar maior realismo ao ambiente simulado.

O objetivo deste capítulo é apresentar os conceitos e os requisitos envolvidos para a construção dos *serious games*, levantando o potencial que

estas aplicações têm para favorecer o aprendizado em ambientes educacionais. Também são apresentadas as definições sobre os sistemas hápticos, mostrando as características de *software* e *hardware* que são utilizados, como também, os conceitos básicos para o desenvolvimento de aplicações que incorporam esta tecnologia.

2.1 *Serious Games*

A sociedade tem experimentado uma nova categoria de jogos chamada de “*serious games*”. Apesar de não haver uma definição precisa sobre o termo, alguns autores o conceituam basicamente como “um jogo desenvolvido para um fim específico que não apenas o entretenimento”. Michael e Chen (2006) referem-se aos *serious games* como sendo aqueles em que o objetivo primário é a Educação (em suas diversas formas), antes que o entretenimento. Zyda (2005), por sua vez, compara os *serious games* como uma competição mental, jogado com um computador, de acordo com regras específicas, que se utiliza do entretenimento para melhorar o treinamento, a educação, a saúde, as políticas públicas e a comunicação estratégica. Corti (2006) realça que os *serious games* permitem aos jogadores experimentarem tarefas e experiências nas quais poderiam ser impossíveis de realizar diversas vezes sejam pelo seu alto custo, tempo, logística ou por razões de segurança.

Para esse trabalho, é considerada a definição estabelecida por Saywer (2004) e Prensky (2001) que definem os *serious games* como sendo aqueles que não têm como objetivo maior a diversão ou o entretenimento, e sim, o fim educacional ou a aprendizagem sobre determinado fato, informação ou habilidade. A diversão, neste caso, continua existindo como um fator essencial para engajar o jogador no ambiente de aprendizado.

2.1.1 Classificação dos *Serious Games*

Michael e Chen (2006) afirmam que os *serious games* se diferenciam dos jogos de entretenimento pelo seu propósito final, dessa forma, eles não representam um gênero específico. Tais jogos podem assumir qualquer gênero já definido da categoria de entretenimento, desde jogos de ação, aventura, corrida, estratégia, habilidade, simulação, treinamento, educacional, entre outros.

Contudo, Rankin e Vargas (2008) analisam que os gêneros do tipo habilidade, estratégia, simulação, treinamento e educacional têm sido considerados como os gêneros de jogos mais apropriados para incorporar elementos “sérios”, não que em outros gêneros também possam ser incorporados. O conceito de “sério” neste caso, se aplica, por exemplo, ao propósito educacional, ao treinamento de uma habilidade, à conscientização sobre um problema, à tomada de uma decisão, dentre outros.

Os jogos de habilidades ajudam o jogador a desenvolver habilidades mentais ou físicas como a coordenação motora e a rápida reação. Os jogadores são motivados a se tornarem especialistas e dominarem as habilidades necessárias para vencer o jogo. Exemplos destes jogos são jogos musicais como *Guitar Hero*³ e *Rock Band*⁴, de esportes e de cartas como o *Poker*.

Nos jogos de estratégias, os jogadores decidem quais estratégias dentro das disponíveis devem adotar. O mais clássico jogo deste gênero é o Xadrez, no qual o jogador tem de construir a melhor estratégia para derrotar seu adversário. Outros exemplos são o jogo de tabuleiro como Damas e do estilo *Role-playing game* ou RPG, que em português pode ser traduzido para “jogo de interpretação de personagem”.

Normalmente os jogos de simulação são usados para executar uma tarefa que poderia ser muito difícil, perigosa, ineficaz ou impossível de fazer no mundo real [Corti, 2006]. Alguns jogos simulam mundos realísticos e com gráficos complexos nos quais é possível usá-los em simuladores de formação, como por exemplo, no jogo *Microsoft Flight Simulator*⁵ para a formação de pilotos de avião. Outro exemplo deste gênero é o *3D Driving Academy*⁶, que tem como objetivo recriar distritos de Paris, Londres e Berlim para a condução de veículos sob diferentes leis de trânsito Europeias. Os jogos de simulação, mesmo com a intenção de simular situações do dia-a-dia ou situações mais complexas que necessitam de um conhecimento prévio, possuem todas as funcionalidades de um jogo propriamente dito como regras, níveis de dificuldades e pontuações.

³ Fonte: <http://www.guitarhero.com>

⁴ Fonte: <http://www.rockband.com>

⁵ Fonte: <http://www.microsoft.com/games/flightsimulatorx>

⁶ Fonte: <http://www.3d-fahrschule.de>

A concepção de jogos de treinamento varia entre os formatos mais simplistas até com as mais revolucionárias tecnologias para o seu desenvolvimento. Devido às limitações encontradas no treinamento de procedimentos e técnicas utilizadas em diversas áreas, o uso de jogos desta natureza são capazes de prover meios efetivos de treinamento por meio da reprodução de situações reais. Por exemplo, algumas organizações empresariais ao redor do mundo utilizam jogos de treinamento para ajudar a manter o interesse de participação e fazer o treinamento mais agradável e divertido entre seus funcionários [Rankin e Vargas, 2008].

Por fim, os jogos educacionais são projetados com objetivos de oferecer meios para produção e construção do conhecimento [Aranha, 2006]. Assim, os jogos educacionais podem se inserir em diversas atividades, as quais não estão voltadas apenas para o desenvolvimento de conteúdos específicos, mas também, de habilidades que enriquecem a formação geral do jogador auxiliando-o a [Perry, 2007]: ampliar sua linguagem e promover a comunicação de ideias; desenvolver a capacidade de fazer estimativas e cálculos mentais; estimular a concentração, raciocínio, perseverança e criatividade; promover a troca de ideias através de atividades em grupo; iniciar-se nos métodos de investigação científica, entre outros. Como exemplos destes jogos, pode-se destacar os que foram desenvolvidos no LabTEVE da UFPB: o GeoplanoPEC [Moraes *et al.*, 2008a] e o GeoespaçoPEC [Virginio *et al.*, 2009] para conceitos de matemática em geometria plana e espacial e o SilvesterPEC [Saraiva *et al.*, 2009b] que utiliza conhecimentos de geografia.

É importante destacar que para a construção de um *serious game*, este pode ser combinado com mais de um dos gêneros citados acima, possibilitando assim, ampliar ainda mais os propósitos sérios e de entretenimento do jogo.

2.1.2 Requisitos para a Concepção dos *Serious Games*

Na concepção de um *serious game*, o estímulo das funções cognitivas, a motivação e a aquisição de conhecimento são elementos fundamentais que precisam estar presentes [Machado *et al.*, 2009].

Por se tratar de uma aplicação de propósitos específicos, o planejamento demanda o apoio de profissionais da área ao qual o conteúdo se relaciona. Na

Figura 1, são apresentados novos elementos que os *serious games* incorporam para a sua concepção em comparação com o desenvolvimento de um jogo sem um conteúdo sério.

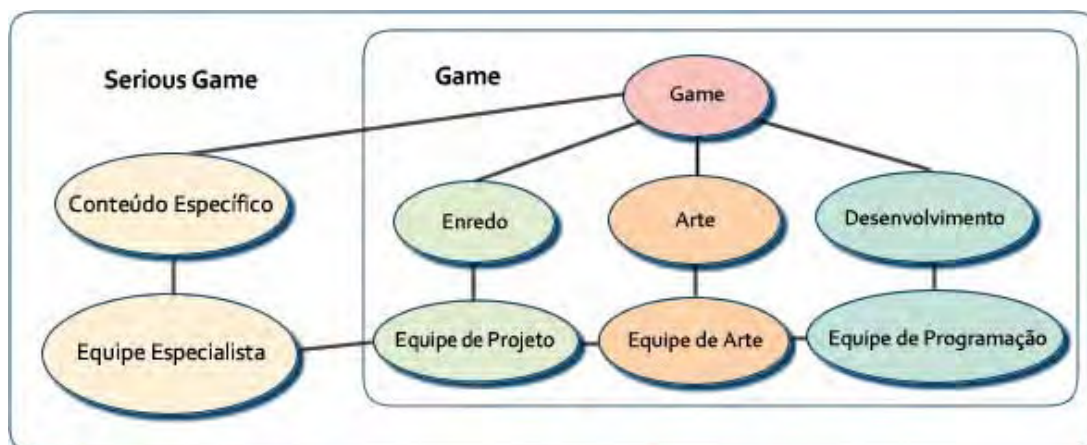


Figura 1. Relação entre as equipes de desenvolvimento e especialista.

Os *serious games* possuem mais do que apenas enredo, arte e desenvolvimento. No processo de concepção e elaboração de um *serious game*, deve existir um planejamento pedagógico subsidiando o desenvolvimento. Mesmo em *serious games* do tipo “divulgação de marcas”, é preciso levar em consideração aspectos de estratégia de divulgação de marcas para que o jogo cumpra o seu papel. Nesse sentido, os *serious games* devem incorporar requisitos provenientes de ambientes educacionais como, por exemplo, a integração com metodologias e planos pedagógicos, além de características como roteiro, conceituação artística (*game design*), jogabilidade (*gameplay*) e definição das interfaces *ingame* e *outgame* [Machado *et al.*, 2009].

Como apresentado na Figura 1, o *serious game* requer uma colaboração estreita entre especialistas da área de domínio em que o jogo está inserido, no qual irão ajudar as demais equipes a delinear o escopo do jogo, bem como as maneiras mais adequadas de abordar os conteúdos específicos. Segundo Zyda (2005), “todas as equipes devem interagir com os profissionais no assunto que compõem a equipe especialista”. O líder de equipe tem de coordenar o grupo a fim de definir um conjunto de abordagem, conteúdo e tecnologia para o correto planejamento e especificação do *serious game*.

De acordo com Rankin e Vargas (2008) e Barnes *et al.* (2009), os *serious games* estão sendo aplicados em diversas áreas do conhecimento, tais como

militar, empresarial, governamental, político, religioso e artístico. Mas um dos setores que tem mais se beneficiado do uso dos *serious games*, principalmente com a combinação de treinamento e ensino, é o da saúde [Machado *et al.*, 2009].

No Capítulo 3 deste documento, são descritos em mais detalhes o que tem sido feito em relação ao desenvolvimento dos *serious games* na área de saúde, particularmente apresentando exemplos e características de jogos em Odontologia.

2.2 Sistemas Hápticos

Os seres humanos exploram objetos em muitas etapas. Primeiro fazem a varredura visual do ambiente com seus olhos, para encontrar a posição do objeto, depois tocam no objeto para sentir sua forma geral. Finalmente, é feita uma exploração manual mais cuidadosa para investigar as características das superfícies do material que forma o objeto, como sua maciez, textura e forma. Quando se trata dessa exploração no contexto computacional, entra em cena a subárea da RV chamada de sistemas hápticos.

O termo háptico deriva-se da palavra grega “*hapticos*” que significa “tocar ou perceber” e relaciona-se à informação sensorial recebida através do toque ou contato físico [Burdea, 1999]. Sabe-se que o toque é o único sentido humano bidirecional, ou seja, recebe e envia informações. Ao realizar um toque, uma força é aplicada sobre algo e sua resultante é percebida por quem a aplicou. Assim, devido às características do sistema sensorial tátil, realizar ou perceber um toque depende necessariamente do contato direto com o objeto tocado.

De acordo com Burdea e Coiffet (2003) dois diferentes conceitos são normalmente mencionados em relação à percepção do toque: tato e cinestesia. O tato está relacionado ao usuário sentir diferentes tipos de sensações como temperatura, pressão, vibração ou dor e depende da sensibilidade cutânea. Esta sensibilidade varia de acordo com a região utilizada para realizar o contato. A cinestesia, por sua vez, refere-se à percepção das tensões aplicadas aos músculos e juntas. Esta percepção é também chamada de propriocepção ou *force-feedback* (retorno de força) e permite identificar a rigidez de objetos.

Em sistemas computacionais, a identificação do tato e do retorno de força depende de duas partes igualmente importantes que formam os sistemas hápticos: os dispositivos, responsáveis por receber ações do usuário e apresentá-lhe as propriedades relacionadas ao toque, e as rotinas de controle, responsáveis por calcular e enviar as propriedades do toque ao dispositivo.

No ser humano, as sensações de tato e retorno de força não podem ser separadas, mas o mesmo não acontece com os dispositivos hápticos. Por esta razão, há dispositivos que fornecem ambas ou apenas uma delas.

2.2.1 Dispositivos Hápticos

Dispositivos hápticos são periféricos de entrada e saída que permitem ao usuário interagir em um ambiente virtual simulando a sensação correspondente ao toque, no qual retornam forças ou sensações referentes às características dos objetos. Dessa forma, é possível definir os dispositivos hápticos como sendo interfaces homem-computador que associam gestos ao toque, com o intuito de prover um meio de comunicação mais natural entre pessoas e máquinas.

Uma característica fundamental desses dispositivos é a possibilidade de serem programáveis. Este conceito refere-se à capacidade que os dispositivos hápticos têm de modificar suas propriedades mecânicas e físicas através de rotinas provenientes do computador. Com isso, cria-se a possibilidade de uma troca bidirecional de informações entre o usuário e o sistema.

A Figura 2 faz a comparação entre o sentido do toque utilizando um *mouse* convencional (ciclo do lado esquerdo) e o sentido do toque utilizando um dispositivo háptico (ciclo do lado direito).

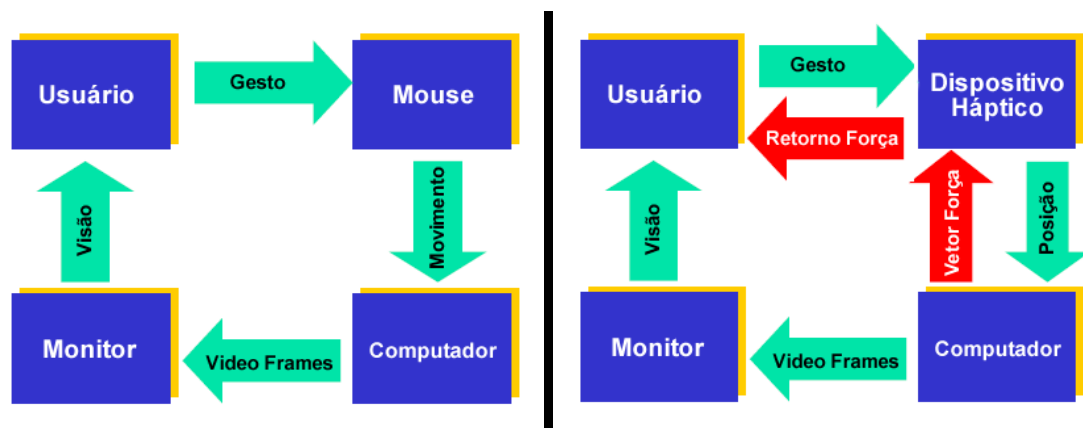


Figura 2. Comparação entre o sentido do toque utilizando o mouse e o dispositivo háptico.

Com o *mouse* convencional, o fluxo de informações tem apenas uma direção, do usuário para o computador. Dessa forma, o usuário praticamente não recebe informações sobre os seus movimentos, apenas visualmente pela tela do computador.

Com o dispositivo háptico, por outro lado, quando o usuário realiza algum gesto ou movimento interagindo com um ambiente virtual, além do retorno visual, rotinas de controle do ambiente respondem enviando um vetor de força para o dispositivo, que por sua vez, pode retornar ao usuário um *feedback* baseado no tato ou na força, permitindo uma interação rápida e intuitiva com o computador.

Atualmente, os dispositivos hápticos disponíveis variam em sofisticação e fidelidade. Em um extremo estão os *gamepads* com vibração e os *joysticks* com retorno de força que oferecem interatividade limitada e consequentemente não conseguem caracterizar ações próximas aos correspondentes do mundo real [Minogue, 2008]. Na Figura 3 podem ser observados alguns destes dispositivos que são utilizados nos jogos.



Figura 3. Dispositivos hápticos com interatividade limitada – (a) Controle com vibração (Wii, www.wii.com); (b) *Gamepad* com vibração (PlayStation®, www.playstation.com); (c) Volante e *Joystick* com retorno de força (Logitech, www.logitech.com).

Entretanto, há alguns jogos que tiram proveito dos efeitos oferecidos por esses dispositivos, como por exemplo, em alguns jogos de corrida de carros no qual os jogadores podem sentir um retorno de força em seus volantes como se estivessem dirigindo normalmente na estrada, ou também, em jogos de ação, quando os usuários ouvem barulhos e sentem vibrações a partir de seus *gamepads* como se tivessem acabado de levar um tiro.

No outro extremo de sofisticação se encontram os dispositivos hápticos que oferecem um maior nível de interatividade, e podem permitir maiores graus de liberdade em movimentos de translação, rotação e em retorno de força.

Os graus de liberdade referem-se às direções em que o usuário pode se movimentar, ou seja, quantas translações ou rotações podem ser realizadas, e são específicos de cada dispositivo. Para um usuário tocar todos os lados de um objeto virtual tridimensional, transladando-o ao longo dos eixos x, y e z, o dispositivo háptico precisa possuir três graus de liberdade. Outros dispositivos podem oferecer mais 3 graus de liberdade permitindo um usuário rotacionar livremente o objeto, totalizando-se assim, 6 graus.

Os dispositivos hápticos mais sofisticados que representam a maior parte do que é vendido e utilizado em pesquisas e projetos pelo mundo [Minogue, 2008] podem ser agrupados em duas categorias principais: as luvas de dados (*data gloves*) e os dispositivos com apenas um único ponto de interação (*point-probe devices*), embora outros tipos de dispositivos hápticos também existam. A seguir, é descrita cada categoria em mais detalhes:

a) Luva de Dados

Como o ser humano manipula e interage com os objetos do mundo real utilizando principalmente as mãos, as luvas de dados foram desenvolvidas para reconhecer os movimentos dos dedos de quem as veste e transmiti-los para os ambientes virtuais. Em geral, uma luva de dados é constituída por um exoesqueleto que permite a captação de informações como a flexão dos dedos e a orientação real da mão.

O retorno de força é exercido por meio da rede de tendões que são encaminhados para os dedos. Com este dispositivo é possível ter a sensação de agarrar um objeto em vez de tocá-lo. Assim, ao contrário de outros dispositivos,

a luva de dados utiliza mais de um ponto de interação. Outra tecnologia que tem sido empregada nas luvas de dados é a fibra ótica, que permite o rastreamento dos movimentos da mão do usuário para o ambiente virtual.

A Figura 4 apresenta a luva de dados com exoesqueleto desenvolvida pela empresa *Immersion Corporation*, chamada de CyberGraspTM.

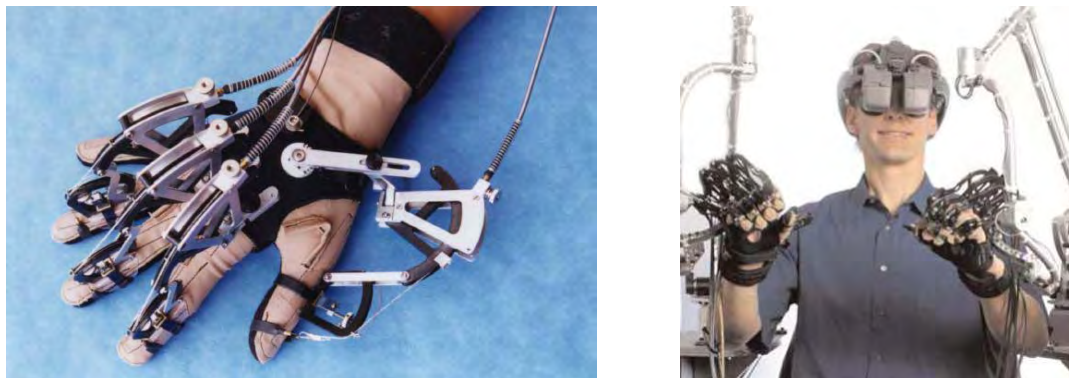


Figura 4. Luva de dados CyberGraspTM desenvolvida pela empresa *Immersion Corporation*.

b) Único Ponto de Interação

Dispositivos com um único ponto de interação modelam o usuário como sendo um ponto infinitesimal no mundo virtual. Ou seja, a sensação tátil ou de força é definida em apenas um ponto por vez [Zilles, 1995].

Estes dispositivos são capazes de rastrear os movimentos do usuário nos eixos x, y e z em um ambiente virtual tridimensional. Os motores dentro do dispositivo retornam as forças pré-programadas quando são detectadas as colisões com os objetos virtuais dentro do ambiente, simulando a sensação de toque [Minogue, 2008].

Nas Figuras 5 e 6 são ilustrados dois dispositivos que possuem apenas um único ponto de interação, o *Falcon* da *Novint Technologies Inc.* [Novint Technologies, 2007] e os dispositivos desenvolvidos pela *SensAble Technologies Inc.* o PHANToM[®] *Omni*TM e o PHANToM[®] *Desktop*TM, respectivamente [SensAble Technologies, 2007].

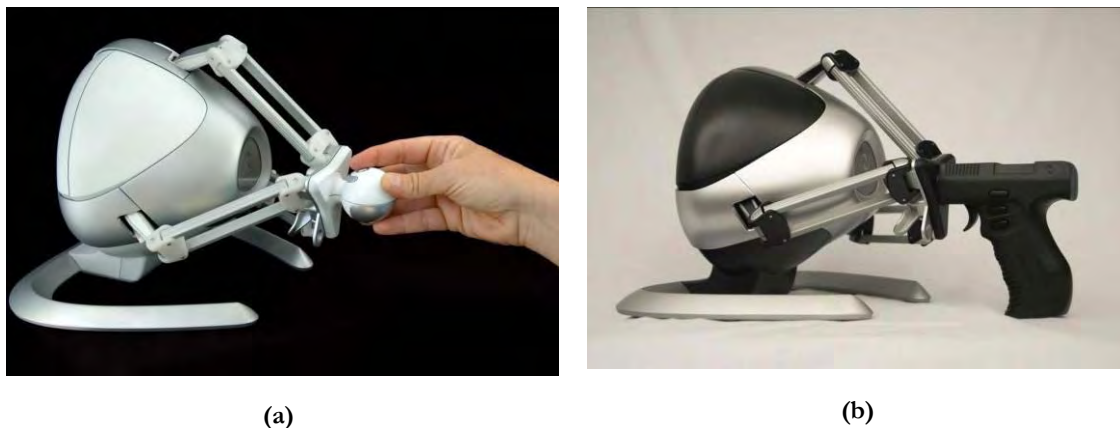


Figura 5. Dispositivos hápticos da *Novint Technologies Inc.* – (a) *Novint Falcon Ball Grip*; (b) *Novint Falcon Pistol Grip* utilizado em alguns jogos de ação com armas.



Figura 6. Dispositivos hápticos desenvolvidas pela *SensAble Technologies Inc.* – (a) *PHANToM Omni*; (b) *PHANToM Desktop*.

Neste trabalho, o dispositivo háptico utilizado é o *PHANToM Omni*. Comparado aos demais, é o dispositivo de melhor relação custo-benefício disponível atualmente, embora ainda bastante inacessível para a aquisição doméstica. O *PHANToM* é portátil, compacto, de fácil utilização e possui sensores de posição com 6 graus de liberdade. A seguir são descritos em mais detalhes as características deste dispositivo.

2.2.1.1 O *PHANToM Omni*

O dispositivo háptico *PHANToM Omni* é composto por uma base, que está unida a um braço mecânico cuja extremidade assemelha-se a uma caneta, que permite naturalmente simular diversos instrumentos reais como ferramentas

cirúrgicas, pincéis, escovas, chaves de fenda, entre outros. [Massie e Salisbury, 1994].

Os braços articulados utilizados no PHANToM possuem basicamente três engrenagens que permitem a translação de um ponto de referência nas três dimensões espaciais x, y e z (Figura 7a). A estas engrenagens são acoplados motores que proporcionam o registro e envio das forças aplicadas durante a interação do usuário com o ambiente virtual. Além disso, é possível ainda oferecer rotação em relação aos três eixos ortogonais (Figura 7b).

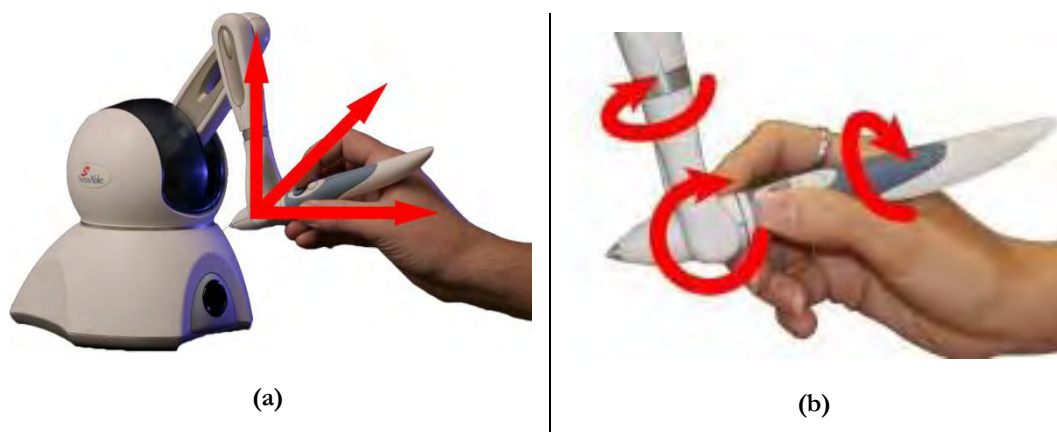


Figura 7. Graus de liberdade do PHANToM *Omni* - (a) 3 em translação; (b) 3 em rotação.

De maneira resumida, as características presentes no dispositivo estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Especificações do dispositivo PHANToM *Omni* (SensAble Technologies, 2007).

Especificações do PHANToM <i>Omni</i>	
Resolução da Posição	Aproximadamente 0,055 mm
Espaço de Trabalho (<i>workspace</i>)	160 mm de largura 120 mm de altura 70 mm de diâmetro
Fricção	Menor que 0,26 N
Força Aplicável Máxima	3,3 N
Força Aplicável Contínua	Maior que 0,88 N
Rigidez (<i>stiffness</i>)	Eixo x 1,26 N/mm Eixo y 2,31 N/mm Eixo z 1,02 N/mm
Inércia	Aproximadamente 45 g
Peso	Aproximadamente 1,47 Kg
Temperatura de Operação	De 10 a 35° C
Temperatura de Armazenamento	De -40 a 65° C
Movimento	6 graus de liberdade
Feedback de Força	3 graus de liberdade (x, y, z)

2.2.2 Modelagem da Cena Háptica

A modelagem da cena háptica em certos aspectos é semelhante a de uma cena gráfica (visual). A cena gráfica é formada basicamente pelo volume de visualização gráfico dentro do mundo virtual e pelos objetos virtuais dentro deste volume. De forma análoga, a cena háptica também define um volume dentro do mundo virtual, conhecido como volume háptico, e posiciona objetos dentro deste volume, sendo um dos objetos desta cena o próprio dispositivo háptico. Na cena háptica são irrelevantes as características visuais dos objetos, tais como cor e iluminação. Neste caso, os objetos devem apresentar propriedades materiais como aspereza, maciez e elasticidade, que permitam identificá-los a partir do toque. Assim, sem o auxílio da visualização, pode-se identificar quando está em contato com um determinado objeto, sentir sua textura, variações superficiais e, até mesmo, temperatura [Souza *et al.*, 2006].

Visualmente, o ser humano é capaz de perceber de forma suave e contínua as movimentações e alterações de um objeto pela tela do computador a uma frequência de 30Hz~60Hz. Para detectar as características físicas de um objeto, paralela e sincronizada em relação à visualização gráfica, as rotinas de cálculo da cena háptica necessitam ser executadas a uma frequência de 1000Hz [Basdogan e Srinivasan, 2002], modificando a posição do dispositivo no ambiente virtual e enviando o sinal de retorno de força ou tátil ao usuário. Cada instante deste ciclo de cálculos na cena háptica é chamado de renderização háptica.

2.2.3 Renderização Háptica

A renderização háptica pode ser definida como o processo pelo qual as rotinas de controle háptico calculam as modificações na cena háptica, atualizando-a e enviando estas modificações ao usuário em tempo real [Basdogan e Srinivasan, 2002].

O processo de renderização háptica pode ser descrito da seguinte forma: o usuário manipula o dispositivo háptico cuja representação visual pode ser vista na cena gráfica, o qual denominará de *cursor* ou ponto de interação. À medida que o usuário move o ponto de interação ao longo da cena, sua posição e orientação são detectadas pelos codificadores do dispositivo; quando há uma colisão com um objeto virtual, esta deve ser detectada e imediatamente passam

a atuar algoritmos de cálculo de retorno de força; quando o ponto de interação colidir com objetos, os algoritmos calculam a força de reação baseado na profundidade de penetração. Os vetores de força podem então ser modificados de forma a representar o tipo de superfície que se deseja renderizar [Souza *et al.*, 2005]. De modo simplificado, as principais etapas da renderização háptica são:

1. Localização do ponto de interação no ambiente virtual;
2. Detecção das colisões entre o ponto de interação e a geometria dos objetos virtuais;
3. Cálculo do vetor de força de reação (baseado nas propriedades materiais definidas do ambiente virtual);
4. Envio do vetor de força ao dispositivo háptico;
5. Retorna passo 1.

Como mencionado anteriormente, esses passos da renderização háptica precisam ser executadas a uma frequência de 1000Hz, permitindo uma percepção mais natural das características dos objetos pelo usuário.

Durante o passo 3, o modo como estas forças são computadas podem produzir diferentes efeitos sobre o objeto virtual. Pode-se, por exemplo, renderizar superfícies de objetos rígidos, moles, ásperos e *etc.* [Basdogan *et al.*, 2000]. Estas propriedades são melhores discutidas na próxima seção.

2.2.4 Propriedades Materiais

Os sistemas hápticos são capazes de simular propriedades materiais para distinguir os elementos da cena [Bowman *et al.*, 2006]. É possível simular vários materiais por meio da combinação de certos valores numéricos e fórmulas matemáticas. As propriedades materiais geralmente suportadas por dispositivos hápticos são: *stiffness*, *damping*, *static friction*, *dynamic friction* e *popthrough*.

Stiffness controla a rigidez da superfície do objeto e determina a taxa com que a força aumenta quando o ponto de interação do dispositivo háptico tenta penetrar a superfície. A força é regida pela Lei de *Hooke* (2.1), que é usada por sua versatilidade e simplicidade. Esta força possui o nome de “força mola” (*spring*) e é provavelmente a fórmula mais comum usada em renderização háptica [SensAble Technologies, 2007]. Na fórmula, o coeficiente k representa a

constante de rigidez (*stiffness*), e varia de 0 (zero) a 1 (um), e x representa a profundidade de penetração na superfície ou vetor de deslocamento.

$$F = k.x \quad (2.1)$$

A mola é colocada entre a posição fixa p_o e a posição do dispositivo háptico p_i . A posição fixa é usualmente colocada na superfície do objeto que o usuário está tocando com o dispositivo háptico. A profundidade de penetração ($x = p_o - p_i$) é tal que a força de mola é sempre direcionada na orientação da posição fixa. A força sentida é chamada de força de restauração da mola, já que a mesma está tentando se restaurar até o seu comprimento de descanso, que neste caso é zero. A constante de rigidez dita quão agressivamente a mola tentará se restaurar até o seu descanso. Uma constante de rigidez baixa irá fornecer uma sensação mole, enquanto uma alta irá sentir rigidez. A Figura 8 ilustra graficamente a representação desta fórmula.

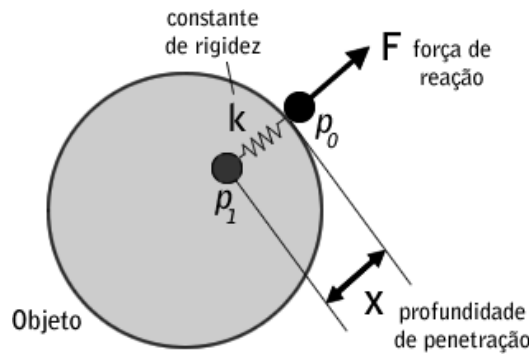


Figura 8. Força mola representada graficamente.

Existe também a força amortecedora (*damping*). Em geral, sua principal utilidade é reduzir a vibração de contato na superfície do objeto e é proporcional à velocidade final do ponto de interação do dispositivo háptico. A equação utilizada pela força está descrita em (2.2), onde b é a constante de amortecimento e v a velocidade do dispositivo.

$$F = -b.v \quad (2.2)$$

Static e *dynamic friction* representam as forças de atrito estático e dinâmico, respectivamente. A força de atrito estático oferece resistência ao ponto de interação no início do movimento e a força de atrito dinâmico resiste apenas durante o movimento na superfície do objeto. *Popthrough*, ou resistência,

representa a força necessária para atravessar um objeto. Um valor de 0 (zero) significa que a superfície não pode ser perfurada.

Todas estas forças podem ser combinadas para representar melhor as propriedades materiais de um objeto no ambiente virtual. Para isso, é necessária uma calibração háptica para que essas propriedades sejam definidas de forma a se aproximarem de seus correspondentes do mundo real.

2.2.5 Calibração Háptica

Durante o desenvolvimento de aplicações com interação háptica, as propriedades materiais dos objetos virtuais devem ser ajustadas de acordo com o domínio da aplicação, de forma a se aproximarem das propriedades reais, contribuindo para o realismo da renderização háptica.

Este ajuste de atributos, chamado de calibração, pode ser um processo demorado que requer a alteração direta do código para manipular os coeficientes das propriedades hápticas, pois em sua maioria, estas não são conhecidas. Além disso, o processo necessita do envolvimento de um especialista no domínio, pois dependerá da sua sensibilidade para o estabelecimento das propriedades adequadas do material em questão.

Existem algumas aplicações [Gomes e Machado, 2009] que fazem especificamente este papel de calibrador háptico, proporcionando os meios para o especialista experimentar e definir interativamente as propriedades de um determinado material, particularmente daqueles cujos valores não são conhecidos numericamente.

Um calibrador háptico pode ser uma importante ferramenta para auxiliar no desenvolvimento de simuladores e jogos para a área de saúde, visto que estes tratam de estruturas, órgãos e tecidos cujas propriedades de natureza tátil não possuem valores numéricos conhecidos, mas que podem ser definidas por profissionais experientes.

2.3 Considerações

Neste capítulo, foi possível definir os conceitos e os requisitos importantes relacionados ao desenvolvimento dos *serious games* baseando-se em alguns

estudiosos de várias áreas que abrangem esta temática. É importante destacar que os *serious games*, mesmo com o intuito de transmitir um conteúdo específico como aprendizado ou treinamento, necessita da diversão e do entretenimento presentes, pois isso faz com que o jogador se motive e amplie sua atenção para aquele conteúdo.

Com relação à construção dos *serious games*, a presença de um profissional da área do conteúdo ou especialista durante todo o desenvolvimento do jogo é primordial. É ele que vai poder avaliar e validar o que está sendo transmitido pelo jogo e consequentemente, verificar se o jogador conseguirá absorver o conteúdo de forma natural.

No contexto dos sistemas hápticos, foram vistos neste capítulo as definições, os dispositivos que são mais utilizados e os conceitos e requisitos importantes para o desenvolvimento de jogos e aplicações que ofereçam interação háptica. Para este trabalho é utilizado o dispositivo PHANToM *Omni* da *SensAble Technologies Inc.* que oferece 6 graus de liberdade em movimentos de translação e rotação e 3 graus de liberdade em retorno de força.

Para as rotinas de renderização háptica, mas especificamente para os cálculos das forças e propriedades materiais dos objetos, é importante mencionar o papel de um especialista no desenvolvimento de uma aplicação ou jogo com interação háptica, pois é ele que poderá ser capaz de avaliar e validar as sensações táteis sentidas pelo usuário, aproximando-os numericamente das propriedades reais do objeto.

3 Estado da Arte em *Serious Games* Aplicados à Odontologia e o Uso de Sistemas Hápticos em Jogos

A área da saúde cada vez mais se utiliza de ferramentas e tecnologias da Computação visando obter maior precisão e utilidade das informações médicas manipuladas, como é o caso da Inteligência Artificial, Multimídia, Internet, RV e *serious games* [Michael e Chen, 2006].

Como visto no Capítulo 2, os *serious games* são exemplos de aplicações capazes de proporcionar ao jogador conhecimento, treinamento de uma habilidade, conscientização sobre um problema, tomada de decisão, motivação, atenção, dentre outros. Assim, pode-se promover a aprendizagem explorando alternativas e respostas, ligando observações e experiências do mundo virtual para o mundo real. Com isso, o aprendizado e a experiência adquirida com a utilização dos *serious games* aplicados à saúde, pode servir como uma alternativa educacional, podendo ser utilizados da mesma maneira como em práticas tradicionais de ensino.

Thompson *et al.* (2010) destacam que os *serious games* na saúde têm a finalidade metodológica de oferecer conhecimentos científicos ou sociais a profissionais, estudantes e pacientes, como também, permitir o aprimoramento de técnicas ou habilidades por meio da prática virtual. As finalidades desses jogos são as mais diversas e há vários grupos de pesquisa no mundo que têm adotado os *serious games* como ferramenta no âmbito científico e social. Trabalhos recentes voltados a diferentes tarefas já oferecem realismo e têm sido difundidos e ampliados seus escopos de ação. Assim, a saúde tem sido um dos setores mais favorecidos em termos de simulação, treinamento e educação com os *serious games* [Michael e Chen, 2006].

Machado *et al.* (2009) analisam que com a utilização de *serious games* em ambientes imersivos e a inclusão de dispositivos não convencionais, podem contribuir para a motivação e aprendizado de profissionais e pacientes na área de saúde. Eles destacam também que as dificuldades encontradas na obtenção de materiais, validação de produtos, treinamento de profissionais, bem como a necessidade de criação de novas abordagens para reabilitação e ensino de hábitos saudáveis, tornam os *serious games* um importante aliado do ensino, treinamento e simulação para a saúde.

Foi visto no Capítulo 2 que os *serious games* necessitam de um planejamento e uma equipe multidisciplinar para a sua construção. Diversas

áreas do conhecimento trabalham de forma interdisciplinar para o desenvolvimento dos *serious games*. Neste contexto, pode-se enfatizar as várias utilidades no âmbito da saúde. Alguns exemplos de jogos neste campo são mostrados a seguir. Destacam-se algumas categorias definidas no trabalho de Machado *et al.*, (2009), são elas: promoção da saúde; condicionamento físico; monitoramento da saúde; treinamento e educação.

Para promoção de saúde e condicionamento físico, uma série de jogos tem sido lançada. Exemplo são os jogos *The Incredible Adventures of the Amazing Food Detective*⁷ (Figura 9), cujo foco é ensinar crianças a se alimentar de forma adequada, estimulando bons hábitos alimentares, e o *MindHabits*⁸, que objetiva permitir ao jogador realizar exercícios e atividades para manter atitudes positivas e diminuir o estresse do cotidiano.



Figura 9. Telas do *serious game* *The Incredible Adventures of the Amazing Food Detective*.

Ainda relacionado ao condicionamento físico, a plataforma *WiiFit*⁹ (Figura 10) tornou-se popularmente conhecida por permitir a realização de exercícios físicos de forma prazerosa e divertida usando um *videogame*. No *WiiFit*, o jogador se posiciona em cima de uma plataforma, e de acordo com os desafios passados pelos jogos, ele precisa se movimentar para conseguir uma maior pontuação.

⁷ Fonte: <http://members.kaiserpermanente.org/redirects/landingpages/afd/>

⁸ Fonte: <http://www.mindhabs.com>

⁹ Fonte: <http://www.wiifit.com>



Figura 10. Criança jogando uma partida de futebol com o *WiiFit*.

Machado *et al.* (2009) destacam que os *serious games* para monitoramento da saúde estão ganhando destaque a partir da disponibilização de marcadores biológicos. Tais dispositivos, também conhecidos como sensores, têm sido utilizados para detectar o aumento da atividade cerebral nas pessoas quando expostas aos jogos. Esta linha tem sido mais voltada para observar o efeito dos jogos sobre as pessoas. Um estudo mostrou que crianças têm uma melhor recuperação e sentem menos dores quando são submetidas a uma terapia de jogos, ou seja, quando os utilizam durante o seu processo de recuperação.

Por fim, o uso de *serious games* para treinamento e ensino, é provavelmente a categoria mais utilizada atualmente [Zyda, 2005]. Como já visto, o uso de aplicações desta natureza é capaz de prover meios efetivos de treinamento por meio da reprodução de situações reais.

Para esta categoria, são encontrados diversos jogos, dentre eles, o *OpenHeart*¹⁰ comercializado pela empresa ISM Inc. para ensinar os passos de uma cirurgia cardíaca que apesar de não se tratar de uma aplicação imersiva, o usuário pode aprender as ferramentas e passos envolvidos neste tipo de procedimento, além de precisar obedecer estas etapas específicas para receber uma pontuação.

Seguindo esta mesma linha, pode-se citar o JDoc, desenvolvido por Sliney e Murphy (2008) que tem como objetivo familiarizar médicos recém-formados com a rotina estressante de um hospital. A partir de informações passadas por

¹⁰ Fonte: <http://www.abc.net.au/science/lcs/heart.htm>

profissionais já experientes, o jogo simula pacientes e cria cenários diversos que dificilmente seriam vivenciados pelos estudantes em uma universidade. A Figura 11 apresenta algumas telas deste jogo.



Figura 11. Telas do *serious game* JDoc.

A partir destes exemplos de jogos voltados para a saúde, este capítulo objetiva realizar um levantamento bibliográfico acerca dos *serious games* relacionados à Odontologia, mostrando sua importância em ajudar a adquirir um conhecimento específico entre profissionais, estudantes e pacientes. É discutido também sobre a utilização dos sistemas hápticos em aplicações para a educação, especialmente para educação em Odontologia e sua aplicação em jogos citando alguns exemplos existentes na literatura. Ao final, é analisado a incorporação dos sistemas hápticos em *serious games*.

3.1 *Serious Games* em Odontologia

Apesar de os *serious games* voltados a temas Odontológicos serem importantes meios de intervenção educativa, pouco se sabe a respeito da disponibilidade e características dos mesmos na literatura [Mialhe *et al.*, 2009]. A partir do exposto, realizou-se um levantamento e avaliação dos *serious games* existentes na literatura e no mercado de jogos em relação ao tipo de mensagem e aspecto pedagógico apresentado, público-alvo, dispositivos de interação, distribuição do jogo e tipo de visualização.

3.1.1 Metodologia

O levantamento dos *serious games* relacionados a temas odontológicos foi realizado por meio da pesquisa em bases de trabalhos científicas como IEEE Xplore, Science Direct, BioMed Central, PubMed.gov, Periódicos CAPES,

Biblioteca Digital da SBC, Biblioteca Virtual em Saúde, procura ativa em *web sites* de busca na Internet como Google e Google Acadêmico e em *web sites* de empresas que comercializam produtos odontológicos. O levantamento contemplou também a busca em revistas e anais de congressos específicos de jogos e saúde. Também foi limitado o período para os resultados, que ficou definido entre 2004 – 2010. As palavras-chave mais importantes que foram utilizadas nas pesquisas foram: *serious games*, *educational games*, *serious games for health*, *serious games in dentistry*, *serious games for oral/dental health*, *games for oral/dental hygiene*, jogos sérios, jogos educacionais, jogos sérios na saúde, jogos sérios para odontologia, jogos sérios para higiene bucal, jogos educacionais para odontologia, jogos educacionais para saúde bucal.

Em sua maioria, os jogos encontrados foram do tipo *online*, com enredo simples, poucos desafios, voltados principalmente para o público infantil e abordando conceitos básicos sobre alimentação e higiene bucal. Como exemplo tem-se o *Dental Space Odyssey*, *Dr. Dentist Game*, *ToothBrushPatch*, *Dental Damage*, *Whack A Molar* e *Dental Distress*. A Figura 12 apresenta algumas telas desses jogos. A principal plataforma adotada por estes jogos é a *Adobe Flash*¹¹, caracterizada por ser de fácil desenvolvimento e compatível com a maioria dos navegadores existentes.



Figura 12. Telas de jogos *online* sobre Odontologia.

¹¹ Fonte: <http://www.adobe.com/flashplatform>

Porém, dentre estes jogos, destacam-se alguns por possuírem um enredo para um público mais diversificado, com uma gama maior de desafios e visualização detalhada. Neste contexto, pode-se citar o *Glenn Martin, DDS: Dental Adventure*¹², um jogo *online* desenvolvido em conjunto com a empresa Nickelodeon. Neste *serious game*, o jogador se torna um dentista e viaja através de oito cidades diferentes dos Estados Unidos para resolver problemas de saúde bucal em pacientes.

O jogo se torna mais difícil à medida que avança os diferentes níveis, podendo chegar há mais de 1 hora de duração passando por todas as cidades. Dentro dos níveis, o jogador tem como desafios tratar problemas do tipo: preencher cavidades, inserir próteses, escovar dentes, aplicar flúor, além de ter a preocupação de não deixar os pacientes sentirem dor, podendo aplicar injeções de anestesia ou até mesmo escolhendo uma música relaxante no rádio. A Figura 13 apresenta a tela inicial e a tela do jogo propriamente dito, respectivamente.

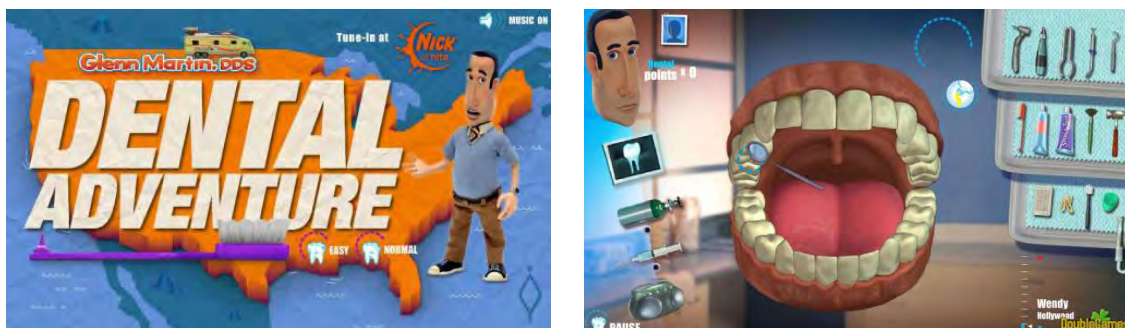


Figura 13. Telas do jogo *Glenn Martin, DDS: Dental Adventure*.

Entre os jogos encontrados que possuem sua concepção com um pouco mais de conteúdo pedagógico, destaca-se o desenvolvido pela empresa de jogos *BreakAway*, em parceria com a Escola de Medicina da cidade de Georgia nos Estados Unidos, o *Virtual Dental Implant Training* (VDIT) [BreakAway, 2009]. O VDIT se baseia em um *serious game* para a simulação de procedimentos em implantes dentários e é destinado a estudantes da área de Odontologia.

Antes de iniciar a construção do jogo, a universidade realizou uma pesquisa e constatou que de acordo com o Centro de Controle e Prevenção de Doenças Bucais dos Estados Unidos, aproximadamente 25% de adultos com mais de 60 anos não possuem mais seus dentes naturais, e a necessidade de

¹² Fonte: <http://www.shockwave.com/gamelanding/glennmartin.jsp>

implantes dentários aumenta a cada ano de acordo com o envelhecimento da população. A partir desta motivação, professores observaram a oportunidade de alinhar o conhecimento em implantes dentários e o uso de *serious games* para ensinar estudantes do curso de Odontologia a obterem uma melhor experiência em cirurgias desta área. O jogo possui um ambiente 3D e simula múltiplos pacientes e cenários que podem ser selecionados randomicamente, permitindo aos estudantes interagirem, colocando-se em prática os conhecimentos adquiridos em salas de aula.

Os alunos têm como desafios perguntar sobre os históricos médicos dos pacientes, examinar e chegar a um diagnóstico para aplicar o implante dentário correto. Os pacientes virtuais possuem diferentes personalidades e os estudantes podem adequar o tratamento baseado nas necessidades mentais, físicas e emocionais dos mesmos. Se o paciente é um candidato a um implante dentário, o jogo se transfere à sala de tratamento clínico, no qual os estudantes decidem o tipo, a localização, a orientação dos implantes, bem como da anestesia que deve ser aplicada.

O jogo possui como personagens duas mulheres e dois homens com diferentes idades, históricos médicos e personalidades. Se o estudante realiza uma operação equivocada, como aplicar a anestesia em um local errado, por exemplo, o paciente reage e o jogador perde pontuação. A interação do jogo é realizada por meio do *mouse* e teclado. A Figura 14 apresenta algumas telas do VDIT.



Figura 14. Telas do *Virtual Dental Implant Training* (VDIT) [BreakAway, 2009].

Outro *serious game* encontrado na literatura, desta vez voltado ao público infantil, foi desenvolvido pelo Departamento de Ciência da Computação e

Engenharia da Informação da Universidade Nacional de Taiwan [Chang *et al.*, 2008]. O jogo, chamado *Playful Toothbrush*, tem como objetivo ajudar pais e professores na motivação de crianças do jardim de infância em aprender a higienização adequada e completa dos dentes. A concepção do jogo baseia-se nos princípios de terapia ocupacional, levando as crianças a ver a atividade de higienização bucal como uma brincadeira agradável e interativa. Com isso, aumenta os conhecimentos das crianças acerca da escovação dos dentes e de hábitos mais saudáveis.

Na concepção do jogo foram especificadas duas finalidades, estimular as crianças que não gostam de escovar os dentes, tornando uma tarefa mais simples e atraente, e ensinar uma técnica de escovação mais adequada para crianças que já possuem o hábito de escovar os dentes, mas não da forma correta.

A Figura 15 apresenta o jogo *Playful Toothbrush* sendo utilizado por uma criança do jardim de infância. Os componentes principais do jogo são: (a) um suporte com LEDs que é fixado na escova de dentes; (b) um dispositivo de rastreamento ótico, composto de uma *webcam* que captura os movimentos dos LEDs da escova; (d) e (e) a interface do jogo no monitor, que mostra os dentes da criança sujos ou limpos no qual recebe os movimentos da escova como entrada dos dados, ou seja, a cada movimento de escovação da criança, o dispositivo de rastreamento detecta em qual dente a escova está atuando e atualiza em tempo real a informação de “dente limpo” na tela do computador.

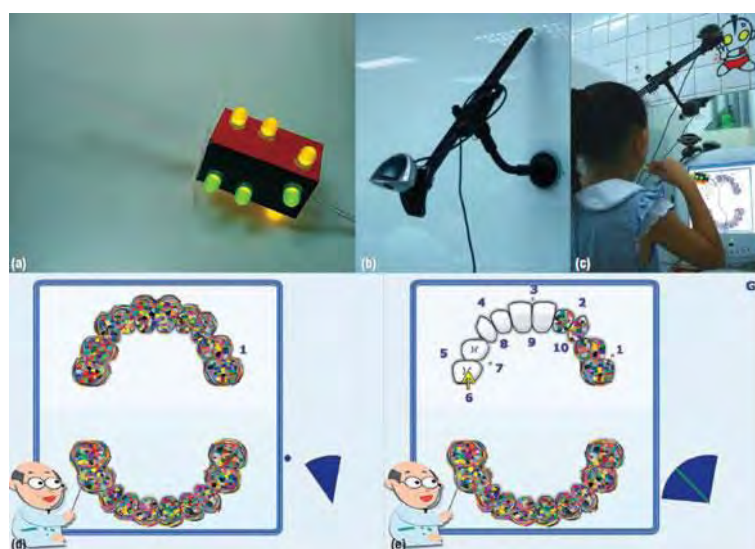


Figura 15. Componentes e telas do jogo *Playful Toothbrush* [Chang *et al.*, 2008].

A partir do primeiro protótipo do jogo, foi realizado um estudo com treze crianças do jardim de infância com idade aproximada de 6 a 7 anos. As crianças eram provenientes de famílias de classe média e todas moradoras de Taiwan. O estudo foi conduzido em uma escola onde todas as crianças eram obrigadas a escovar os dentes diariamente após as refeições e lanches. Como ilustra a Figura 15, o jogo *Playful Toothbrush* foi instalado na pia do banheiro, onde as crianças normalmente fazem a escovação dos dentes. Todas as treze crianças escovaram os dentes uma vez por dia utilizando o jogo, durante cinco dias consecutivos e com cerca de cinco minutos de duração. Depois da realização da higienização bucal com o jogo, elas apresentaram uma melhora significativa da limpeza dos dentes, aumentando o número diário de escovações e realizando uma limpeza mais correta.

3.1.2 Análise dos *Serious Games* em Odontologia

Finalizada a pesquisa dos *serious games* em Odontologia, realizou-se uma análise das características presentes nesses jogos de acordo com os parâmetros definidos anteriormente, como o tipo de mensagem e aspecto pedagógico apresentado, público-alvo, dispositivos de interação, distribuição do jogo e tipo de visualização. A Tabela 2 apresenta os *serious games* encontrados e suas características. Os jogos *online* que possuem como público-alvo as crianças e oferecem a mesma forma de interação, visualização e enredo, foram agrupados e colocados na tabela com um único título, chamado de “Jogos Infantis”.

Tabela 2. Características dos *serious games* encontrados na literatura.

Título	Mensagem	Público-alvo	Interação	Distribuição	Visualização
Jogos Infantis	Conceitos básicos de alimentação e saúde bucal	Crianças	<i>Mouse</i> e Teclado	Gratuito e disponível na Web	2D
<i>Dental Adventure</i>	Diversos conceitos e tratamentos em saúde bucal	Crianças (que saibam ler) e adultos	<i>Mouse</i> e Teclado	Gratuito e disponível na Web	2D
<i>Playful Toothbrush</i>	Técnicas para higiene bucal de crianças	Crianças do jardim de infância	Escova real acoplado a um dispositivo de rastreamento	Proprietário	2D
VDIT	Treinamento em implantes dentários	Estudantes de Odontologia	<i>Mouse</i> e Teclado	Proprietário	3D

Com as informações obtidas durante a análise, observou-se que a maioria dos jogos apresenta o tipo de visualização 2D, sendo apenas o VDIT com visualização em 3D. Em contrapartida, a interação do jogo VDIT acontece apenas com o *mouse* e teclado, dispositivos que oferecem interatividade limitada e não permitem ao jogador navegar e interagir no ambiente nas três dimensões.

O público-alvo predominante dos jogos são crianças, oferecendo principalmente como temática e conteúdo pedagógico, conceitos básicos sobre saúde bucal. Com isso, o conteúdo se limita à diversificação dos conceitos em Odontologia, não podendo se aprofundar em muitos assuntos. Ao contrário, pode ser visto no jogo *Dental Adventure*, que tem como público-alvo as crianças e os adultos e que incorpora diversos conhecimentos sobre saúde bucal desde doenças, cuidados e até formas de tratamento.

É importante destacar que os autores avaliaram o jogo *Playful Toothbrush* e puderam constatar que a incorporação de um dispositivo diferente aplicado no jogo, ampliou o nível de usabilidade e ofereceu uma forma mais motivadora na realização das atividades pelas crianças. Com isso, as possibilidades de incorporar um dispositivo não convencional em jogos, amplia a criação de novas temáticas que ofereçam um novo tipo de interação, trazendo novos públicos com interesse de jogar e aprender acerca de assuntos ligados à Odontologia.

3.2 Uso de Sistemas Hápticos na Educação

Ao longo da História, a educação tem evoluído e novos métodos de ensino têm sido adquiridos a fim de melhorar os processos de aprendizagem. A educação nunca foi um campo estático e sempre tentou se adaptar ao atual *status* cultural e tecnológico e às novas exigências intelectuais da sociedade. Uma das questões mais importantes sempre foi como fazer com que os alunos participassem mais dos processos de aprendizagem. Pantelios *et al.* (2004) mencionam que existem duas maneiras de participar destes processos, uma de forma passiva e outra de forma ativa.

A forma passiva do processo de aprendizagem esta relacionada em obter conhecimento sem interagir com o meio que ela oferece. Um exemplo seria por meio da leitura de livros, no qual o aluno aceita o conhecimento, mas fica

limitado com a prática a testar se ele realmente o absorveu. Na forma passiva os alunos leem, ouvem, veem, mas nunca experimentam, levando assim um baixo nível de percepção do mundo real. Além disso, a maioria dos alunos diminui o interesse e entusiasmo com relação a este tipo de forma.

A forma ativa do processo de aprendizagem, por sua vez, se define em adquirir conhecimentos ao participar, investigar e manipular os elementos do conhecimento e do mundo real. Uma das primeiras formas ativas de aprendizado têm sido os experimentos realizados na escola proporcionando aos alunos a capacidade de adquirir conhecimentos práticos do dia-a-dia.

Nos últimos anos, diversas aplicações computacionais têm sido criadas, permitindo assim, que as crianças estudem e aprendam sobre algo. Como exemplo, tem-se as aplicações voltadas a temática e questões sobre Física [Monteiro *et al.*, 2005].

Outra forma das crianças e, até mesmo adultos, poderem adquirir conhecimentos por meio da forma ativa do processo de aprendizagem é utilizando aplicações em ambientes virtuais tridimensionais, pois está se tornando cada vez mais comum a capacidade de ver e interagir com modelos e objetos virtuais os eventos que não podiam ser experimentados diretamente em cenários do mundo real.

Como discutido anteriormente, para uma melhor compreensão do mundo por meio de ambientes virtuais, são necessárias a inclusão e a simulação dos sentidos da visão, audição, e, principalmente, tátil no processo de aprendizagem. De acordo com Mousavi e Sweller (1995), experiências utilizando o sentido tátil podem reduzir a carga cognitiva durante a aprendizagem e, portanto, ajudam no entendimento daquele conhecimento mais complexo.

Minogue e Jones (2006) avaliaram o impacto de um dispositivo háptico entre estudantes do ensino médio na utilização de um *software* para conceitos sobre células. O resultado mostrou que o grupo que utilizou o *software* com o retorno visual e o retorno háptico, obteve um maior interesse no assunto e conseguiu absorver mais o conhecimento sobre as propriedades das células. Os alunos com apenas retorno visual, ficaram um pouco desorientados e frustrados com o *software*, não conseguindo absorver muito o conhecimento.

A Figura 16 apresenta a interface do *software* sobre células desenvolvida por Minogue e Jones (2006) em seu experimento utilizando um dispositivo háptico.

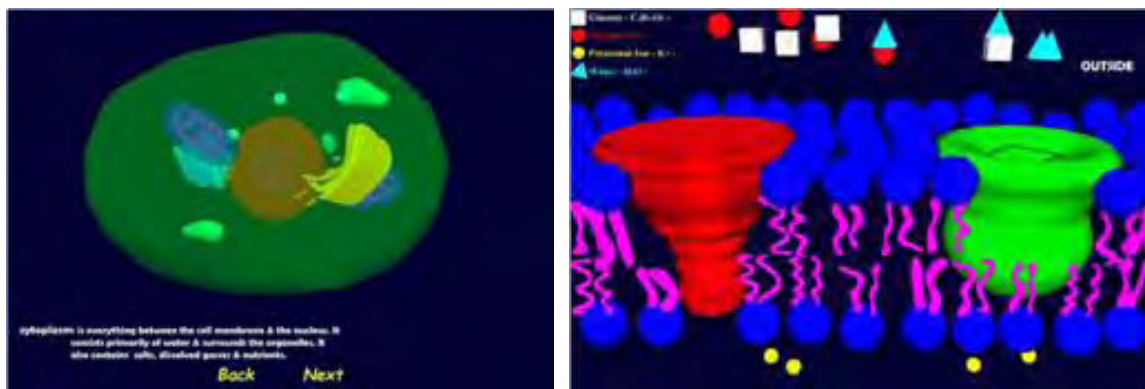


Figura 16. Telas do *software* sobre células utilizando sistemas hápticos [Minogue e Jones, 2006].

Harvey e Gingold (2000) desenvolveram um simulador com visualização 3D e interação háptica para a representação de orbitais atômicos que são tradicionalmente difíceis de conceituar pelos professores para os estudantes de química. Com a utilização de dispositivos hápticos, esta representação dos orbitais passou a ser percebida e entendida facilmente.

Harvey e Gingold (2000) afirmaram que: “*Com o auxílio de dispositivos hápticos, a dificuldade de ensinar conceitualmente através de duas ou mais imagens para criar a representação dos orbitais atômicos, foi substituída por uma experiência concreta, completa e conceitualmente precisa*”.

De forma semelhante, em outra pesquisa realizada, Jones *et al.* (2005a) teve como objetivo avaliar a eficácia de 3 (três) diferentes tipos de dispositivos em relação à aprendizagem de estudantes sobre características dos vírus. Os dispositivos utilizados nesta pesquisa foram o PHANTOM *Desktop* (Figura 17a) com retorno de força em 3 graus de liberdade, o *Joystick Sidewinder* da Microsoft¹³ (Figura 17b) com retorno de força em 2 graus de liberdade e o *mouse* convencional sem retorno de força (Figura 17c).

¹³ Fonte: <http://www.microsoft.com/>

Ademais, foi desenvolvido um *software* que ensinava aos estudantes uma variedade de conceitos, sintomas, técnicas de diagnóstico e características dos vírus, como diferentes formas, composição, tamanhos e material genético.

Foram selecionados estudantes do ensino médio, sendo vinte e uma meninas e quinze meninos, divididos em três grupos distintos: um grupo que utilizou o dispositivo PHANToM *Desktop*, um outro grupo que utilizou o *Joystick Sidewinder*, e por fim um grupo que utilizou o *mouse* convencional.



Figura 17. Dispositivos utilizados por Jones *et al.*, (2005a) - (a) PHANToM *Desktop*; (b) *Joystick Sidewinder*; (c) *Mouse* comum.

Após a experiência com *software*, os estudantes responderam a um questionário que continha perguntas referentes às características dos vírus. O resultado mostrou que quanto mais o dispositivo fornecesse um retorno de força com um grau de liberdade maior, mais estes ajudaram a descrever as características dos vírus com um maior número de detalhes. Neste caso, o dispositivo que obteve um resultado de destaque na pesquisa foi o PHANToM *Desktop*, em segundo o *Joystick Sidewinder* com uma quantidade menor de características descritas, e por último o *mouse*, com nenhuma característica descrita. Além do mais, os dispositivos com retorno de força ajudaram também a motivar e envolver mais os estudantes com relação ao aprendizado.

Os resultados destas pesquisas mostram que a adição da interação háptica com alunos tornou-se uma experiência prazerosa, imersiva e ajudou na absorção melhor do conhecimento. Verificou-se que a possibilidade de “tocar” e explorar ativamente os objetos virtuais e seus componentes estruturais com os dispositivos hápticos, levaram os alunos a tirar proveito das representações

táteis e de força, facilitando assim, o entendimento dos conceitos transmitidos pelas aplicações. Além disso, os alunos ficaram mais motivados e atentos.

Isso evidencia que o sentido adicional de “tocar” e “sentir”, reduz a distância entre a realidade de certos fenômenos do mundo real com apenas o conceito que as pessoas têm sobre eles. Por outro lado, é importante mencionar que o fato de apenas adicionar os dispositivos hápticos não são suficientes. Antes de tudo, deve-se pesquisar o suficiente sobre as potencialidades e capacidades dos dispositivos, a fim de satisfazer adequadamente as necessidades dos usuários.

3.2.1 Sistemas Hápticos na Educação em Odontologia

A essência da educação odontológica não é só transmitir conhecimentos, mas também, instruir o aluno com todas as técnicas para a maioria das situações clínicas que ele poderá por vir trabalhar. O que se torna importante aqui é a exigência de que o aluno não pode ser apenas um observador, mas também, ter uma ideia precisa do que uma lesão ou uma superfície deve se parecer ao utilizar um instrumento odontológico.

Soumya e Srinivas (2011) discutem que não importa o quão longe se chegou em termos de tratamento das doenças da cavidade oral, mas ainda não existe uma boa maneira de ensinar um aluno sobre o sentido tátil, seja para detectar cálculos, cárie, colocação de incisões ou até detectar a suavidade de uma restauração. A única forma de treinar estas técnicas é pelo método de tentativa e erro.

Nos últimos anos com o avanço das tecnologias computacionais, o treinamento desses alunos apoiado por computador cresceu e vários simuladores baseados em tecnologias de RV têm sido desenvolvidos [Chen *et al.*, 2003] [Kim *et al.*, 2005] [Liu *et al.*, 2008]. Os simuladores permitem a prática em ambientes controlados e são adaptáveis a horários flexíveis para os alunos, bem como para os professores. Além do mais, a aplicabilidade, acessibilidade e a diminuição de custos, tornam-se possível este avanço para a área Odontológica.

Os simuladores oferecem um ambiente para os alunos testarem e observarem os resultados de procedimentos odontológicos sem a presença de um

paciente. Facilitam também a repetição das habilidades a serem aprendidas, e permitem oportunidades para avaliar quantitativamente o desempenho dos alunos. Estes podem, assim, por meio de um ambiente seguro, aprender a lidar com os resultados de suas ações [LeBlanc *et al.*, 2003].

Buchanan (2001) afirma que a inclusão de sistemas hápticos nestes simuladores aumenta a eficácia¹⁴ do aprendizado pelos alunos, pois a capacidade de sentir as propriedades materiais dos dentes e gengiva amplia a experiência em cirurgias e proporcionam uma formação quase tão eficiente quanto em um paciente real. Os sistemas hápticos têm sido incorporados em simuladores para Odontologia principalmente em especialidades como periodontia, implantes, prótese, endodontia e cirurgia geral.

Como exemplo destes simuladores, a *Novint Technologies* em colaboração com a Escola de Medicina Dental de Harvard, desenvolveram o *Virtual Reality Dental Training System* (VRDTS) [VRDTS, 2001], um simulador de treinamento dental que utiliza um ambiente em três dimensões e interação háptica por meio do dispositivo PHANTOM *Desktop*, permitindo aos estudantes praticarem uma variedade de procedimentos cirúrgicos pelo computador. A Figura 18 apresenta o sistema VRDTS desenvolvido com a utilização do dispositivo háptico.



Figura 18. Virtual Reality Dental Training System [VRDTS, 2001].

Usando o VRDTS, estudantes trabalham com um modelo virtual de dente em processo de reparação e aprendem a examiná-lo utilizando uma

¹⁴ A eficácia nesse sentido mede a relação entre os resultados obtidos e os objetivos pretendidos.

ferramenta para a restauração da cavidade afetada, preenchendo-o com amálgama e esculpindo-o para coincidir com o contorno original do dente. Este sistema possui duas vantagens, a primeira, como todo processo é virtual, o estudante tem a capacidade de executar “zoom”, rotacionar e até mesmo cortar o dente para compreender melhor o processo de reparação. Uma segunda vantagem é que o VRDTS oferece ao aluno a oportunidade de praticar procedimentos quantas vezes forem necessárias, sem qualquer custo adicional para os materiais.

Também na linha de simuladores para Odontologia utilizando sistemas hápticos, pesquisadores da Universidade de Illinois em Chicago nos Estados Unidos desenvolveram um simulador háptico para treinamentos periodontais chamado *PeroSim*® [Luciano, 2006], em que alunos orientam um estilete que se assemelha a um instrumento utilizado pelos dentistas durante o exame clínico de periodontia. O dispositivo háptico utilizado no simulador é o PHANToM Desktop (Figura 19) e permite ao aluno sentir as sensações táteis da boca. No painel de controle, o aluno é capaz de escolher diferentes procedimentos e instrumentos para a prática cirúrgica.

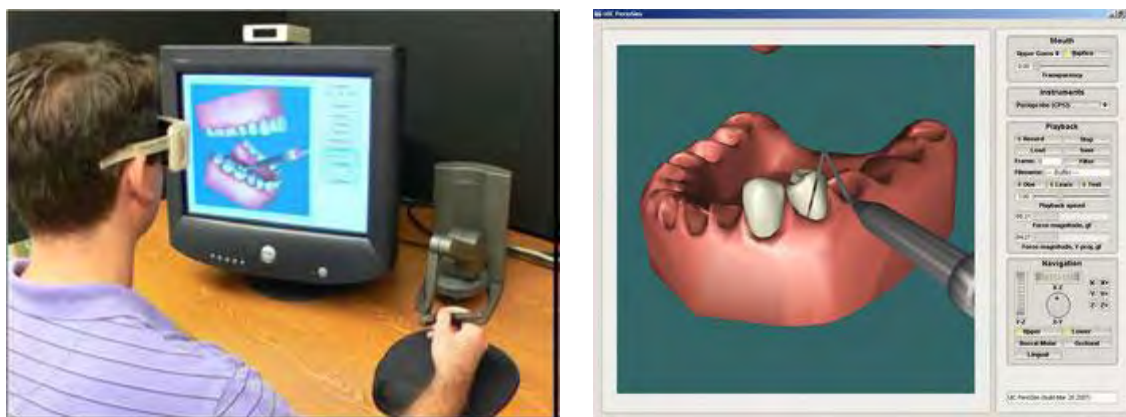


Figura 19. *PerioSim*® Force Feedback Dental Simulator [Luciano, 2006].

O simulador permite ainda aos instrutores criar cenários curtos de procedimentos periodontais que podem ser armazenados e reproduzidos a qualquer momento. A visualização 3D utilizando óculos estéreos possibilita aos alunos imitar com fidelidade o cenário, a partir de vários ângulos, de modo que podem observar diferentes pontos de vista da colocação do instrumento periodontal durante o procedimento.

Pham *et al.* (2006), por sua vez, criaram na Universidade Oakland, Estados Unidos, um simulador háptico chamado *Virtual Nursing Simulator*. O objetivo do simulador é permitir o treinamento prático e educativo para os alunos do curso de enfermagem da Universidade de Oakland. O simulador é programado para oferecer pacientes em diferentes situações, tais como inconsciência, lesões faciais e até mesmo o coma. Também oferece diferentes problemas orais como a doença periodontal, alterações nos dentes e outras complicações que podem afetar um paciente com uma lesão ou doença específica. O simulador proporciona a cada aluno de enfermagem a capacidade de praticar e familiarizar-se com os cuidados corretos necessários para cada paciente. Na Figura 20 encontra-se uma imagem do simulador criado, mostrando todos os recursos utilizados para o treinamento tais como, o ambiente virtual e o modelo em formato de escova de dente que representa o dispositivo háptico comandado pelo usuário, cuja movimentação é visualizada em tempo real.

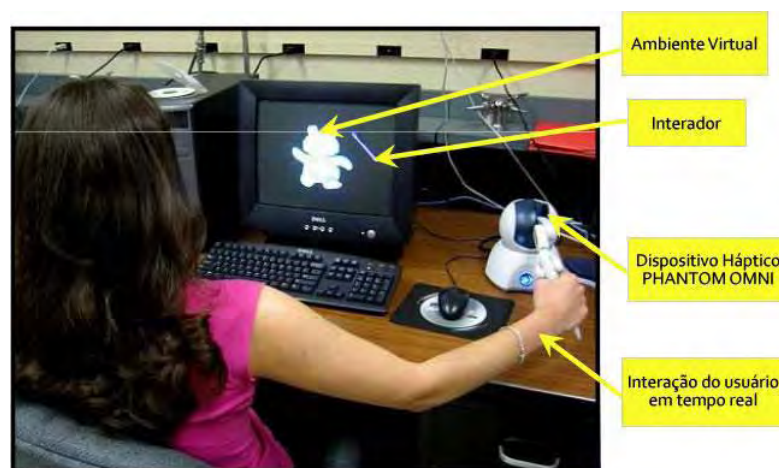


Figura 20. Simulador háptico para a prática de alunos de enfermagem [Pham *et al.*, 2006].

Após analisadas estas aplicações, é importante destacar as vantagens por elas oferecidas no desenvolvimento de ambientes capazes de simular o que é essencial pelos profissionais para realizarem os procedimentos e técnicas exigidas nas suas atividades.

A primeira vantagem é a visualização tridimensional, no qual é bastante comum neste tipo de aplicação. Apesar de que, para permitir que o usuário visualize os objetos virtuais em três dimensões, são necessários dispositivos e processos que ajudam na exibição de imagens estereoscópicas como anaglifo, luz

polarizada ou luz intermitente, ampliando a sensação de imersão sentida pelo usuário.

Como estas aplicações visam o aprendizado e principalmente o treinamento, é essencial simular o sentimento e os procedimentos vividos pelos profissionais no ambiente real. Para isso, é de extrema importância que os modelos virtuais presentes nos ambientes tenham um nível de realismo considerável, incluindo detalhes importantes como cores, formas e iluminação.

Do mesmo modo, as propriedades materiais dos modelos sentidas pelos usuários, por meio do dispositivo háptico, também se torna um fator essencial para o realismo da aplicação. Neste caso, como visto no Capítulo 2, item 2.2.5, uma calibração háptica com a presença de um especialista pode ajudar a definir mais precisamente essas propriedades. Por exemplo, para a área Odontológica, na criação de uma aplicação que simule procedimentos de periodontia, um profissional que atue nesta especialidade poderia calibrar as propriedades dos dentes, da gengiva e da placa bacteriana que é removida por meio dos instrumentos cirúrgicos.

Outra vantagem analisada nestas aplicações é as características de interatividade. Girar, rotacionar e aplicar *zoom*, são exemplos de funcionalidades que ajudam na interação do usuário com o ambiente virtual e facilitam no processo de aprendizagem. Além da interação realizada com o dispositivo háptico, o teclado e o *mouse* são importantes para interações de segundo plano. Assim, a possibilidade de criar novos cenários, armazenar os procedimentos realizados, alterar informações de visualização e propriedades táteis, devem ser acessadas de forma rápida e fácil. Com isso, uma boa usabilidade é um requisito essencial para permitir um envolvimento maior do usuário.

Como desvantagem, é visto que o público-alvo se restringe principalmente a profissionais e estudantes da área Odontológica, no qual estes ambientes se limitam a conter apenas conteúdos técnicos e relacionados a práticas médicas. Por isso, é importante se investir em pesquisas e inovações a fim de incorporar estas tecnologias a um custo baixo, ampliando ainda mais o público-alvo.

Alguns jogos já fazem uso de dispositivos hápticos integrados com seus ambientes. A seguir é visto alguns exemplos e quais requisitos são necessários para incorporar estes sistemas aos jogos.

3.3 Sistemas Hápticos e o seu Uso em Jogos

Chang (2002) afirma que tecnologias hápticas passarão a fazer parte integrante do processo de *design* de jogos exigindo um planejamento criativo a fim de aproveitar ao máximo esta tecnologia. Os hábitos dos jogadores também poderão mudar a fim de incorporar o sentido do toque, o que lhes dará uma interação mais complexa com o ambiente do jogo, ampliando a imersão e tornando o processo de entendimento de tomada de decisão mais completo. Zyda (2005) discute que a criação de tecnologias que envolvam a mente do jogador por meio da estimulação sensorial e que forneçam métodos para aumentar a sensação de imersão, contribui para a criação de jogos mais realistas.

Como exemplo de jogos que utilizam dispositivo háptico, pode-se destacar o *HaptiCast* [Andrews *et al.*, 2006] (Figura 21), com visualização 3D, *multiplayer* e que coloca os jogadores em um ambiente de primeira pessoa. Ele foi projetado para proporcionar ação e interatividade utilizando o dispositivo háptico PHANTOM *Omni*.

No *HaptiCast*, o jogador se torna um bruxo e tem disponível alguns tipos de varinhas mágicas. Quando o jogador usa uma varinha, é lançado um feitiço que retorna um efeito háptico, o qual oferece uma maneira diferente de interagir com o ambiente. O jogo também simula a sensação de arrastar objetos pesados, gravidade e forças de impulso provocado por colisões, entre outros objetos.



Figura 21. Telas do jogo *HaptiCast* [Andrews *et al.*, 2006].

Numa apresentação na Universidade de Ottawa, a equipe que desenvolveu o *HapitCast* realizou uma avaliação com alguns usuários sobre o uso do dispositivo háptico para a interação com os objetos virtuais do jogo. De acordo com os resultados, eles verificaram que a integração com o dispositivo háptico aumentou o realismo e elevou o nível de imersão sentido pelos usuários, como também, o entretenimento e a motivação. Dentre os usuários que participaram da avaliação, havia crianças e adultos. Os dois grupos expressaram dificuldade ao iniciar o uso do dispositivo háptico, mas logo depois a maioria se mostrou mais ágil após alguns minutos de prática.

Outro exemplo é o *Haptic Battle Pong* [Morris *et al.*, 2004], uma versão do jogo *Pong* com suporte a dispositivo háptico. Nele, o retorno de força proporcionado pelo dispositivo é utilizado para mostrar o contato entre a bola e a raquete do jogador. No entanto, os efeitos hápticos apresentados são limitados, não utilizando todo potencial que um dispositivo háptico pode oferecer. A Figura 22 apresenta a tela do jogador e um usuário interagindo com o dispositivo, respectivamente.

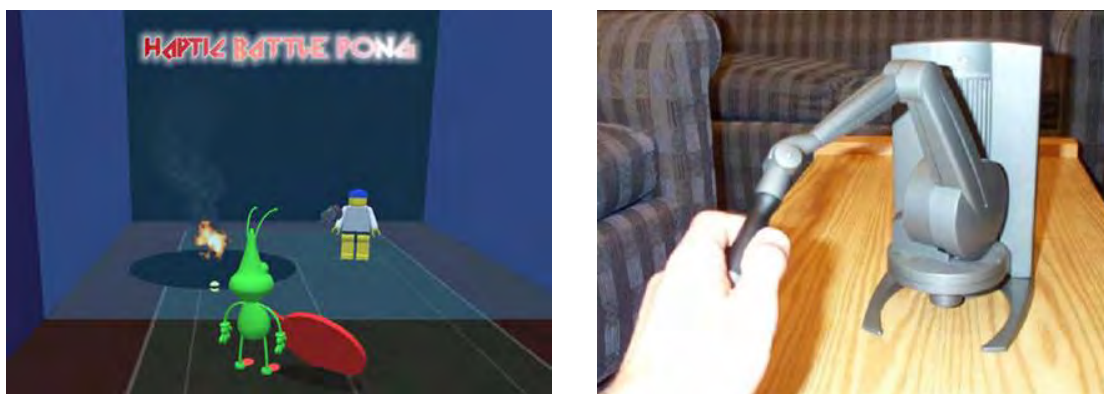


Figura 22. Telas do jogo *Haptic Battle Pong* [Morris *et al.*, 2004].

O *HapticCycle* [Farias *et al.*, 2006], é um jogo com visualização 3D que consiste em uma bicicleta inserida no contexto de um jogo de triciclos e integrada a um dispositivo de interação háptica. O retorno háptico fornecido pela aplicação ocorre pela simulação da resistência de acordo com o relevo do terreno percebida no ato de pedalar a bicicleta. A partir dos resultados da avaliação feita pelos desenvolvedores do *HapticCycle*, ficou concluído que a inclusão de uma resposta háptica no jogo de corrida de triciclos contribuiu de forma significativa para um aumento no nível de atratividade e diversão dos jogadores.

A Figura 23 apresenta uma tela do jogo e um usuário pedalando na bicicleta com o dispositivo háptico.

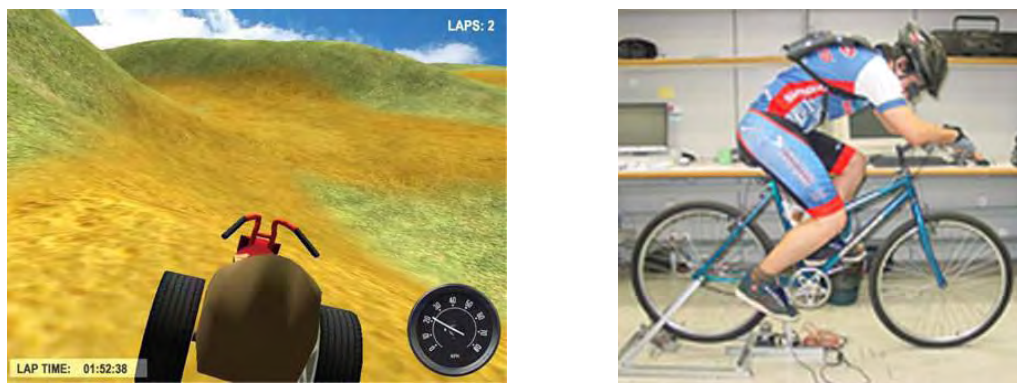


Figura 23. Telas do jogo *HapticCycle* [Farias *et al.*, 2006].

De Paolis *et al.* (2007) desenvolveram um jogo de bilhar (ou sinuca) utilizando o dispositivo háptico PHANTOM Omni, a fim de tornar o jogo tão interativo e realista quanto possível para o usuário. Com o dispositivo, é possível sentir o contato entre o taco e a bola no momento do “golpe”. São utilizados diferentes tipos de modelagem para a simulação: gráfica, física e háptica. A gráfica consiste em um conjunto de objetos 3D modelados e importados para o ambiente virtual, como bolas, mesa e taco. Em cada objeto da cena é aplicado propriedades físicas, definindo a geometria, a massa, a inércia, a rigidez e o atrito. Quanto à modelagem tátil dos objetos, estas propriedades físicas são passadas para o dispositivo háptico por meio de bibliotecas específicas do dispositivo. As limitações da simulação são referentes ao uso de um dispositivo háptico que não foi projetado especificamente para o jogo. Devido ao espaço limitado do dispositivo, não é possível realizar alguns movimentos, que, no jogo real, poderiam ser feitos. A Figura 24 ilustra uma tela do jogo e um usuário manipulando o dispositivo háptico, respectivamente.

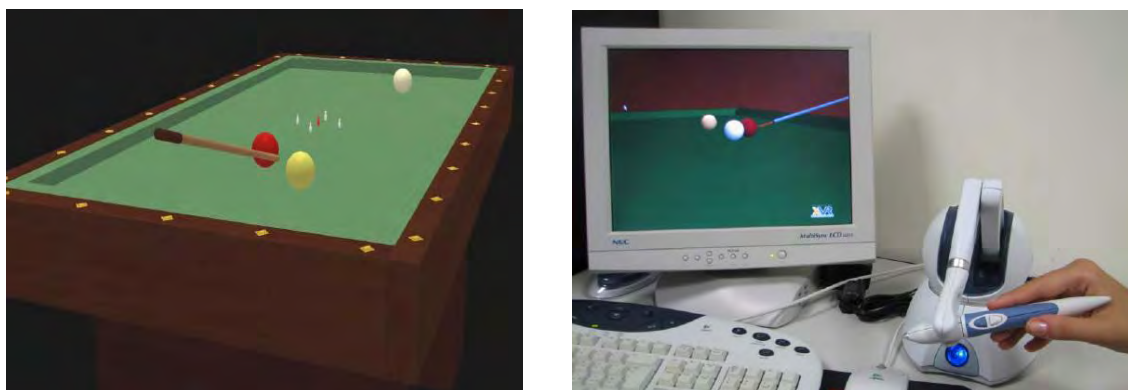


Figura 24. Telas do jogo de sinuca com dispositivo háptico [De Paolis *et al.*, 2007].

3.3.1 Integração de Sistemas Hápticos em Jogos

Devido à crescente rapidez com o qual novos jogos e tecnologias chegam ao mercado, Farias *et al.* (2006) analisam que para a construção de um jogo, se deve adotar um modelo de desenvolvimento rápido e eficiente. Para alcançar este objetivo, ferramentas e bibliotecas foram criadas, como por exemplo, os motores de jogos, do inglês *game engine*, ou simplesmente *engine*.

As funcionalidades tipicamente fornecidas por um motor de jogo incluem: um motor gráfico para renderizar gráficos 2D e/ou 3D, um motor de física para simular a física ou simplesmente para fazer detecção de colisão, suporte a animação, sons, inteligência artificial, *networking*, gerência de memória, gerência de arquivos, gerência de linha de execução, suporte a grafos de cena e entidades e, suporte a uma linguagem de *script*. Entretanto, Farias *et al.* (2006) e Machado *et al.* (2009) explicam que um problema existente na utilização destes motores é que o desenvolvedor limita-se às mesmas formas de interação convencionais como *joysticks*, *mouse* e teclado, não havendo um suporte genérico para dispositivos com características específicas como os dispositivos hápticos, por exemplo. Neste ponto, observa-se que para que ocorra a comunicação entre um motor de jogos e dispositivos hápticos, é necessário o uso de programas, *plugins* ou APIs específicas que geralmente são fornecidas pelos próprios dispositivos hápticos para facilitar sua integração.

Há alguns trabalhos relacionados que se utilizam de motores gráficos para a integração com sistemas hápticos. Nilsson e Aamisepp (2003) explicam da importância de incorporar o háptico em um motor gráfico e um *plugin* para o motor *Crystal Space* foi desenvolvido para demonstrar esta integração. No entanto, os processos e detalhes sobre a integração não foram bem exploradas por este projeto.

Existem outros esforços, como a biblioteca CHAI3D [Conti *et al.*, 2005], para combinar renderização gráfica e sistemas hápticos, mas estes não contêm características que são desejáveis para o desenvolvimento de jogos, como suporte a animação, inteligência artificial, entre outros existentes em motores de jogos.

Um dos componentes importantes no desenvolvimento de jogos com sistemas hápticos é o motor de física, do inglês *physics engine*, que simula a

física para todos os objetos no ambiente virtual. Variáveis tais como massa, velocidade, inércia, fricção e forças externas, contribuem para o seu realismo. Este componente fornece detecção de colisões e resposta entre objetos, permitindo que os jogadores percebam uma dinâmica física, bem como o acesso à informação utilizada pelos algoritmos de renderização de forças para os dispositivos hápticos.

Com isso, um jogo com retorno háptico deve considerar quatro fatores para a sua implementação [Basdogan e Srinivasan, 2002], estes fatores são: a posição e orientação do jogador no mundo virtual, a detecção de colisão do jogador com os objetos na cena, a reação da colisão que é transmitida por meio dos dispositivos hápticos e as alterações gráficas resultantes da interação do jogador com os objetos. A Figura 25 ilustra graficamente estes fatores e como se estabelece a comunicação entre eles.

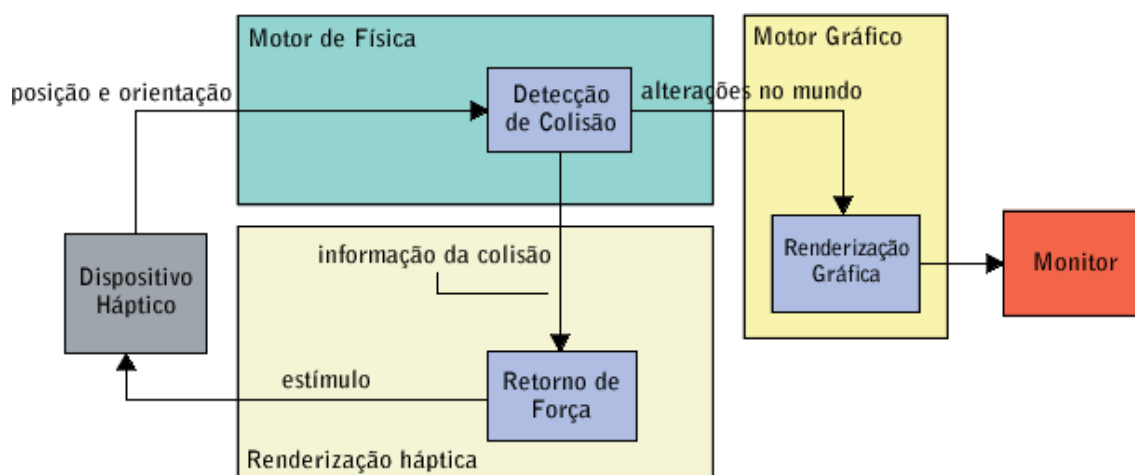


Figura 25. Integração de sistemas hápticos em jogos [Adaptada de Basdogan e Srinivasan (2002)].

Sendo assim, para o desenvolvimento de jogos com incorporação do toque, é necessária a criação de módulos e classes para a interação háptica, para as colisões físicas e para a visualização de todos os comportamentos resultantes destas colisões na cena gráfica.

3.4 Considerações

Neste capítulo observou-se a importância do desenvolvimento de *serious games* para a área da saúde, que atua principalmente em promover a aprendizagem e experiências do mundo virtual para transferir como um conhecimento efetivo para o usuário utilizar no mundo real.

De acordo com os projetos apresentados, verificou-se que diversas áreas da saúde estão sendo beneficiadas com a utilização dos *serious games* como por exemplo, o tratamento de distintos tipos de fobias, melhoras no condicionamento físico de adultos e idosos e também, na recuperação e diminuição de dores entre crianças. Mas o treinamento aliado à educação é uma das abordagens principais da utilização dos *serious games* nesta área.

A Odontologia especificamente tem sido um dos focos do desenvolvimento de *serious games* como educação e treinamento. Em crianças, pais e professores têm conseguido mudar a motivação com a utilização de jogos e transformado a higienização bucal em uma brincadeira agradável e interativa. Estudantes da área de Odontologia também têm sido contemplados com a criação de alguns jogos para a educação odontológica, ensinando técnicas de procedimentos cirúrgicos para implantes dentários.

No entanto, como visto na seção 3.2, a incorporação de um dispositivo háptico pode ampliar o nível de usabilidade e oferecer um maior realismo, trazendo melhores resultados na realização das atividades inseridas nos jogos. Diversas aplicações têm comprovado que a utilização destes dispositivos para a educação e treinamento na área Odontológica, por meio da reprodução de situações reais, melhora o aprendizado efetivo e amplia a sensação de imersão sentida pelo usuário.

Embora existam diferentes jogos que incorporam os dispositivos hápticos, não foi encontrado na literatura nenhum *serious game* com o propósito de promover a educação, habilidade ou o treinamento para o público em geral na área de Odontologia com a utilização destes dispositivos. Assim, o estudo e a investigação para este tipo de jogo estão abertos e precisam ser explorados.

4 O *Serious Game*

“TouchBrush Game”

Foi visto nos capítulos anteriores que os *serious games* vêm sendo utilizados para identificar jogos com um propósito específico, ou seja, que extrapolam a ideia de entretenimento e oferecem outros tipos de experiências. As pessoas que utilizam este tipo de jogo experimentam tarefas que poderiam ser difíceis de realizar diversas vezes, sejam pelo seu alto custo, tempo, logística ou por razões de segurança. Além disso, o desenvolvimento de um *serious game* requer uma colaboração estreita entre especialistas da área de domínio que ajudarão as demais equipes a delinear o seu escopo, bem como as maneiras mais adequadas de abordar os conteúdos específicos.

Também foi discutido que o desenvolvimento dos *serious games* em ambientes imersivos e a inclusão de dispositivos hápticos podem contribuir para a motivação e aprendizado do jogador. A incorporação de um dispositivo háptico possibilita ampliar o nível de realismo e oferecer uma forma mais eficiente de envolvimento, trazendo melhores resultados na realização das atividades de natureza tátil inseridas nos jogos.

Diversos projetos têm comprovado que a utilização de dispositivos hápticos em aplicações na saúde para a educação e treinamento, melhora o nível de percepção e aprendizado efetivo ampliando a sensação de imersão sentida pelo usuário. Entretanto, poucos são os incentivos da aplicação destes dispositivos em *serious games*.

Desta forma, este capítulo traz a concepção e elaboração de um *serious game* utilizando sistemas hápticos para Odontologia, relacionado à educação em higiene bucal de adultos [Rodrigues *et al.*, 2009].

Para a construção deste jogo, foi proposto inicialmente um modelo de processo de desenvolvimento de *serious game*, que tem como intuito promover a integração entre diversas área de conhecimento a fim de alcançar um bom conjunto de abordagem, conteúdo e tecnologia [Rodrigues *et al.*, 2010a].

4.1 Modelo de Processo de Desenvolvimento

Como visto anteriormente na saúde, como em outras áreas, o desenvolvimento de um *serious game* necessita de uma equipe multidisciplinar em que os profissionais relacionados ao conteúdo do jogo precisam estar em

constante comunicação com a equipe de *design* e desenvolvimento, a fim de alcançar um bom conjunto de abordagem, conteúdo e tecnologia para um correto planejamento e especificação do jogo [Zyda, 2005]. Outra questão bastante importante relacionada ao desenvolvimento é a qualidade, que deve considerar não só os aspectos tecnológicos, mas também, aspectos específicos de conteúdo que influenciam na absorção do conhecimento transmitido pelo jogo [Beque, 2006].

A partir dos modelos de processos de desenvolvimento de jogos analisados por Rodrigues *et al.* (2010a), pode-se constatar que os mesmos não possuem características, mecanismos ou pessoas especializadas para tratar e gerenciar o conteúdo específico no desenvolvimento de um *serious games*, como também alguns não se preocupam em garantir a qualidade do conteúdo desde as etapas iniciais do processo de desenvolvimento.

Para suprir esta necessidade, a proposta apresentada neste trabalho expõe um modelo de processo para o desenvolvimento de *serious games*. Este modelo se fundamenta no gerenciamento tanto de conceitos computacionais quanto relacionados a jogos e ao seu conteúdo específico, promovendo a integração entre diversas áreas visando um jogo de qualidade.

Baseando-se nos modelos vistos por Rodrigues *et al.* (2010a), existem dois tipos: os adaptativos, que são fundados nos modelos ágeis, os quais possuem uma cultura que demanda menor ordem de desenvolvimento e um pequeno número de desenvolvedores experientes, e os modelos prescritivos, que se baseiam em modelos com uma cultura que exige maior ordem e com grande número de desenvolvedores [Pressman, 2005].

O processo de desenvolvimento de jogos em geral, possui mais semelhanças com o modelo prescritivo: é comum um grande número de profissionais envolvidos e acontecem em uma cultura que demanda muita ordem de tarefas sobre implementação. Por conseguinte, o modelo de desenvolvimento a ser proposto utiliza princípios de modelos mais prescritivos, neste caso, inspirado na essência do RUP (*Rational Unified Process*) [Rational, 2001].

As principais práticas do desenvolvimento de *software* presentes no conceito do RUP também fazem parte, em um contexto diferente, do modelo de

processo para o desenvolvimento de *serious games* proposto neste trabalho, também chamado de *Serious Games Unified Process* (SGUP). Entretanto, para incluir as características, papéis e atividades para o desenvolvimento de *serious games*, incluindo também a preocupação com os aspectos específicos de conteúdo, duas disciplinas foram inseridas no modelo: O Gerenciamento do Projeto de Conteúdo Específico e o Gerenciamento da *Game Bible*. A Tabela 3 apresenta a descrição de como estas novas disciplinas se aplicam ao modelo de desenvolvimento.

Tabela 3. Novas disciplinas criadas para o SGUP.

Disciplina	Descrição	Principais Papeis
Gerenciamento do Projeto de Conteúdo Específico	O gerenciamento do projeto de conteúdo específico se preocupa em atender às necessidades específicas de conteúdo do <i>serious game</i> com ajuda dos profissionais especialistas da área em que o jogo se aplica.	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Profissional especialista da área de conteúdo; ➤ Potencial Usuário.
Gerenciamento da <i>Game Bible</i>	O gerenciamento da <i>game bible</i> se preocupa em atender às necessidades de entretenimento identificando e especificando as características que estarão presentes no <i>serious game</i> como roteiro, jogabilidade, conceituação artística, desafios, entre outros.	<ul style="list-style-type: none"> ➤ <i>Game Designer</i>; ➤ Artista;

Assim como no RUP, o SGUP é composto por duas dimensões: estática (vertical) e dinâmica (horizontal). A estrutura estática consiste em um conjunto de disciplinas realizadas ao longo do tempo. Cada uma é definida em termos de quem (papeis), como (atividade), o que (artefato) e quando (fluxo de atividades). Algumas definições de papeis, atividades, artefatos e fluxos de atividades do modelo são similares às do RUP e não são abordadas neste trabalho. A estrutura dinâmica consiste em estruturar como o conjunto de disciplinas da estrutura estática se comporta ao longo da linha do tempo. Associados à estrutura dinâmica, tem-se os conceitos de fases, iterações e *milestones*¹⁵.

O SGUP possui um conjunto de quatro fases (Concepção, Pré-Produção, Produção e Pós-Produção) e dez disciplinas, estas divididas em sete de criação

¹⁵ *Milestone* define um marco, um ponto final de uma atividade de processo.

(Análise de Requisitos, Projeto de Conteúdo Específico, *Game Bible*, Projeto Técnico, Implementação, Teste e Distribuição) e três disciplinas de apoio (Gerência de Configuração e Mudanças, Gerência de Projeto e Ambiente).

Na Figura 26, também conhecido como “gráfico das baleias”, são apresentadas como estas disciplinas se comportam em relação às fases da estrutura dinâmica do SGUP, ou seja, o esforço empregado em cada uma delas ao longo das fases.

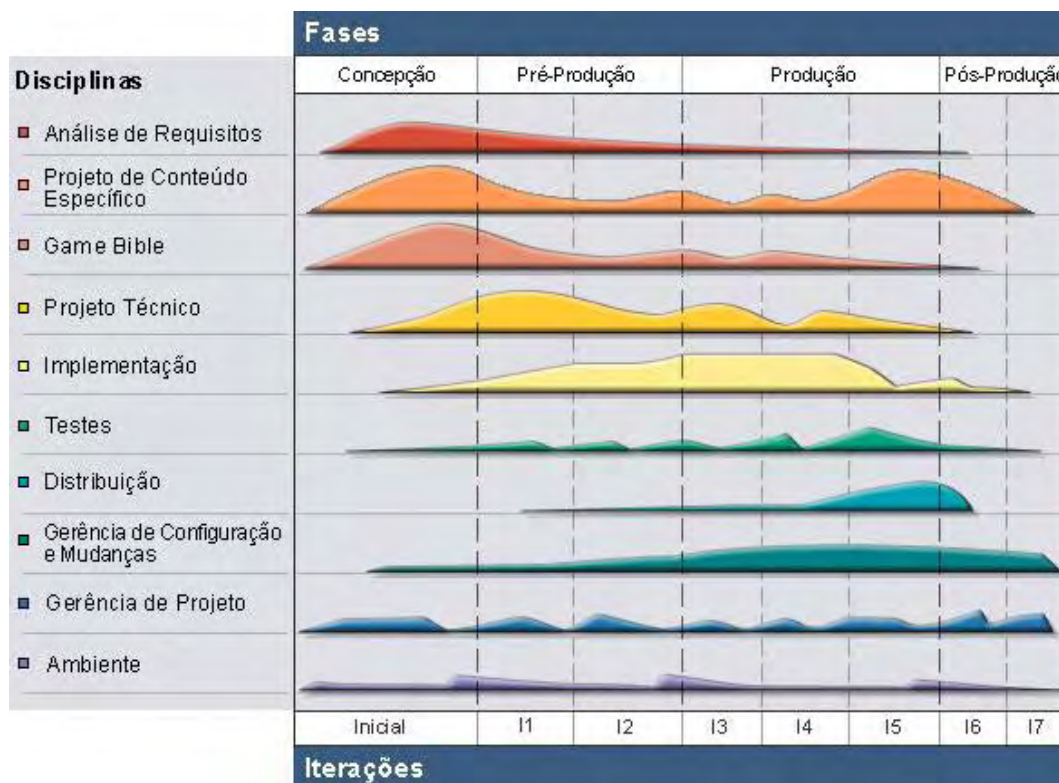


Figura 26. Estrutura do *Serious Game Unified Process* (SGUP).

Uma passagem pelas quatro fases é chamada de ciclo de desenvolvimento e a cada passagem por fase produz uma geração do jogo. O conceito de iteração significa a passagem pelas dez disciplinas, no qual o número de iterações para completar um projeto depende da complexidade do mesmo [Pressman, 2005].

As dez disciplinas do SGUP estão reunidas em dois grandes grupos: criação e apoio. A seguir são descritas em mais detalhes, as disciplinas do grupo de criação que foram incluídas neste modelo. As disciplinas de apoio continuam seguindo com os mesmos objetivos e esforços das existentes no modelo do RUP.

4.1.1 Disciplinas de Criação

As disciplinas de criação estão associadas às atividades desempenhadas em produzir os artefatos que fazem parte do *serious game*. Na Tabela 4 são apresentadas as sete disciplinas de criação:

Tabela 4. Descrição das disciplinas de criação do SGUP.

Disciplina	Esforço	Atividades
Análise de Requisitos	Na primeira fase do modelo (Concepção). Nas fases de Pré-Produção e Produção mantém uma linearidade com um menor esforço.	Levantamento e análise dos requisitos identificando os dados relevantes sobre a temática do <i>serious game</i> , definindo o tipo de conteúdo, público-alvo e objetivo.
Projeto de Conteúdo Específico	Na fase de Concepção e Pré-Produção estabelecendo os conceitos do conteúdo do <i>serious game</i> e organizando-os em requisitos computacionais. No final da Produção ocorre uma análise do uso dos conceitos inseridos no <i>serious game</i> entre potenciais usuários.	Descreve e fundamenta o <i>serious game</i> que será produzido, tendo em vista as necessidades didáticas ou pedagógicas do conteúdo que serão informadas pelos profissionais da área no qual o <i>serious game</i> está sendo aplicado. Estas necessidades devem ser mediadas pelos demais integrantes da equipe, em função da adaptação destas aos recursos computacionais disponíveis.
<i>Game Bible</i>	Na fase de Concepção e Pré-Produção em que se definem com certa profundidade os elementos inseridos no <i>serious game</i> .	Definição e especificação principalmente do roteiro, conceituação artística (<i>game design</i>), jogabilidade (<i>game play</i>), desafios, interfaces, IA, áudio e entre outros, a partir dos requisitos gerados das disciplinas de Análise de Requisitos e Projeto de Conteúdo Específico em um nível de detalhes que permita o início da fase de Produção.
Projeto Técnico	Na fase de Pré-Produção. A intensidade desta disciplina é um pouco deslocada para a direita na linha do tempo em relação a <i>Game Bible</i> . O motivo é que as principais atividades desta disciplina dependem do resultado de atividades das disciplinas de Projeto de Conteúdo Específico e <i>Game Bible</i> .	Definir e especificar os elementos técnicos como ferramentas e bibliotecas que serão utilizadas durante a implementação do <i>serious game</i> , em um nível de detalhes que permita o início da fase de Produção.
Implementação	Na fase de Produção, contudo, faz parte desta disciplina o desenvolvimento de protótipos, nas fases de Concepção e Pré-Produção, como também a implementação de eventuais correções e melhorias na fase de Pós-Produção.	Criação dos componentes de código e posterior integração destes com o conteúdo artístico e sonoro.
Testes	Apesar de algum esforço ao longo das fases de Concepção, Pré-Produção e Produção, possui sua intensidade concentrada na fase de Pós-Produção com o objetivo de realizar os testes finais.	Aplicar dois grandes grupos de testes: <i>alpha</i> e <i>beta</i> . Os primeiros envolvem essencialmente membros do desenvolvimento, já os testes <i>beta</i> , costumam envolver consultores e potenciais usuários do <i>serious game</i> .
Distribuição	Na fase de Pós-Produção.	Finalizar e lançar o <i>serious game</i> .

A partir deste capítulo são discutidas todas as etapas de aplicação do modelo de processo proposto, detalhando todas as atividades realizadas durante as fases de Concepção, Pré-Produção, Produção e Pós-Produção para o desenvolvimento do *serious game* “TouchBrush Game”.

As áreas do conhecimento presentes na equipe multidisciplinar deste trabalho integraram profissionais especialistas de Computação, Odontologia e Estatística a fim de seguir todas as etapas do SGUP. Durante a aplicação do modelo, alguns profissionais desempenharam mais de um papel para a execução das atividades de algumas disciplinas do processo, como por exemplo, na disciplina de Implementação, no qual o profissional de Computação desempenhou papéis como *designer*, engenheiro de áudio e desenvolvedor. Outros papéis como Gerente de Projetos foram desempenhados em conjunto por vários profissionais.

4.2 Aplicação do Modelo de Processo

Para as atividades da disciplina de Análise de Requisitos, dois fatores precisaram ser definidos primordialmente antes de qualquer coisa: o público-alvo e o objetivo. Somente com estes dois pontos especificados é que se pode avançar com as próximas atividades da fase de Concepção do jogo. Neste sentido, este trabalho definiu os adultos como público-alvo e o objetivo como sendo de informar e propiciar a aprendizagem sobre conceitos e técnicas relacionados à higiene bucal.

Para aplicar este conhecimento, foi necessário conhecer primeiramente as técnicas mais comuns de escovação existentes e a mais indicada para o público adulto. Isso permitiu que, na disciplina de Projeto de Conteúdo Específico fosse possível definir qual seria a técnica usada no jogo e como ela deveria ser transmitida para o jogador. A seguir é descrito como foi realizado este estudo das técnicas de escovação.

4.2.1 Técnicas de Escovação

Diversos métodos ou técnicas de escovação têm sido descritos na literatura. Esses métodos podem ser classificados em diferentes categorias de acordo com o tipo de movimento que a escova realiza. Com isto, as técnicas

mais utilizadas são a horizontal (Phones ou Fones), vertical (técnica de Stillman) e oblíqua (técnica de Bass e Bass modificada) [Lascala e Moussalli, 1999] [Lindhe *et al.*, 2005]. A Figura 27 ilustra estas três técnicas.

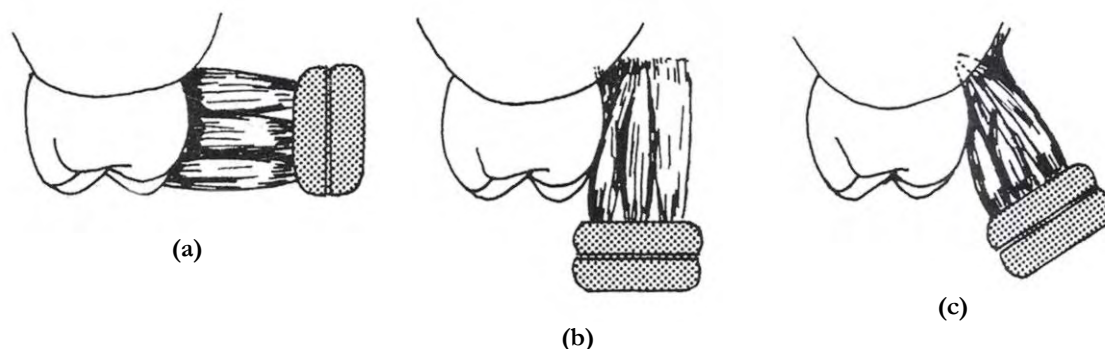


Figura 27. Técnicas de escovação – (a) horizontal; (b) vertical; (c) oblíqua. [Lascala e Moussalli, 1999].

Na escovação horizontal, a cabeça da escova é posicionada em um ângulo de 90° com relação à superfície dos dentes e então um movimento horizontal é aplicado. As superfícies oclusal, lingual e palatina são escovadas com a boca aberta, enquanto a vestibular é higienizada com a boca fechada. Esta técnica é recomendada para crianças, sendo mais conhecida como técnica da “bolinha”.

Na técnica de Stillman ou vertical, a cabeça da escova é posicionada numa direção vertical voltada para o ápice da raiz, com as cerdas localizadas parcialmente na gengiva e na superfície dentaria. Uma pressão leve, juntamente com um movimento vibratório, é então aplicada sobre o cabo, sem que a escova seja deslocada da sua posição original. Esta técnica é recomendada para pacientes com recessão gengival, pois evita o problema com mais efetividade contra a placa.

Já na oblíqua ou de Bass, a cabeça da escova é posicionada em um ângulo de 45° com relação à gengiva, e então um movimento vibratório curto é aplicado. Com a técnica de Bass modificada, é acrescentado um movimento vertical de varredura em direção às pontas dos dentes. Este movimento deve ser empregado também nas faces voltadas para a bochecha, nas faces internas, e nas faces de mastigação de cada dente. Esta técnica tem como característica principal a remoção mais efetiva da placa, principalmente a nível gengival. É a técnica mais recomendada para a maioria dos pacientes adultos.

Lindhe *et al.* (2005) explicam que apesar de cada um desses métodos de escovação dentária ser efetivo na remoção da placa, sua indicação deve ser feita de acordo com a necessidade do paciente. Na maioria dos casos, pequenas mudanças na própria técnica utilizada pelo paciente já é suficiente, levando-se em consideração sempre, que o mais importante na seleção do método é a disposição demonstrada pela pessoa em limpar seus dentes.

Para a concepção do jogo “TouchBrush Game”, a técnica escolhida como base para propiciar o aprendizado em higiene bucal, foi a técnica de Bass modificada ou oblíqua.


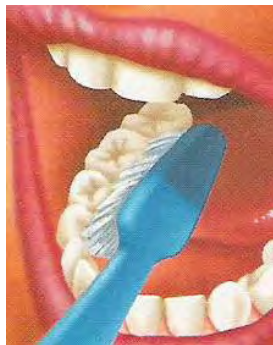


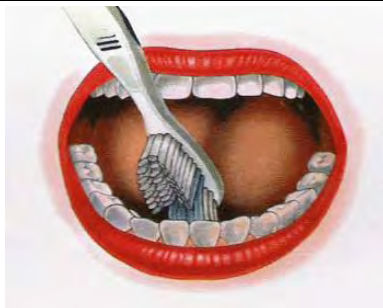
Na Tabela 5 são detalhadas todas as etapas de escovação que um adulto deve realizar seguindo a técnica de escovação Bass modificada. Esta ordem não é a padrão, mas pode ser recomendada pelos dentistas.

4.2.2 Testes com Potenciais Usuários

Morais *et al.* (2010) destacam que os elementos pedagógicos são essenciais na construção de um *serious game* que tem o intuito de propiciar um aprendizado, pois norteiam a elaboração do roteiro, o planejamento dos desafios, a modelagem do cenário e a definição do gênero do jogo. Com as principais atividades da disciplina de Análise de Requisitos finalizadas (público-alvo, objetivo e estudo do conteúdo), iniciou-se a disciplina de Projeto de Conteúdo Específico.

Durante as atividades desta disciplina, foram realizadas reuniões com a equipe multidisciplinar para a definição dos diversos aspectos do jogo, dentre eles: a investigação sobre a aceitação dos potenciais usuários quanto à facilidade de uso com o dispositivo háptico e os desafios e tarefas dentro da temática de higiene bucal. Dois objetivos foram definidos para esta investigação: a capacidade do usuário de sentir as propriedades materiais dos objetos virtuais presentes no jogo e a possibilidade de realizar os movimentos corretos de escovação seguindo a técnica escolhida. Sabe-se que a maioria dos usuários nunca utilizaram um dispositivo háptico durante a vida. Por isso, esta investigação é bastante pertinente para avaliar quais são as tarefas que estarão presentes no jogo e quais são os níveis de dificuldades das mesmas.

Tabela 5. Descrição dos movimentos de escovação da técnica oblíqua [Lascala e Moussalli, 1999].

Área	Descrição	Imagem
Dentes laterais (face externa)	Colocam-se as cerdas da escova entre a gengiva e o dente, de modo a formar um ângulo aproximado de 45°. Pressionam-se as cerdas suavemente, fazendo movimentos circulares, de tal maneira que as cerdas da escova vibrem dentro do sulco gengival. Depois é acrescentado um movimento vertical de varredura em direção às pontas dos dentes.	
Dentes laterais (faces internas)	Colocam-se as cerdas em posição de aproximadamente 45° às faces laterais dos dentes. Pressiona-se levemente fazendo movimentos vibratórios circulares, sem que as cerdas saiam do espaço interdental, mais uma vez é acrescentado um movimento vertical de varredura em direção às pontas dos dentes.	
Dentes laterais (face mastigatória ou oclusal)	Colocam-se as cerdas de modo que elas encostem à superfície oclusal dos dentes, fazendo movimentos de vai-e-vem.	
Dentes anteriores ou frontais (face externa)	Colocam-se as cerdas em um ângulo de 45° em relação ao dente, fazendo pequena vibração e acrescentado do movimento vertical de varredura em direção às pontas dos dentes.	
Dentes anteriores ou frontais (face interna)	Na face interna dos dentes anteriores, nos de cima e nos de baixo, posiciona-se a escova de forma frontal e inclinada, introduzindo-as no sulco gengival e fazendo movimentos vibratórios e de vai-e-vem.	
Também é importante não esquecer de escovar a parte superior da língua.		

Para aplicar este teste, foi desenvolvido um protótipo do jogo sem nenhum detalhe referente ao roteiro, cenários, textos, entre outros. Contendo apenas um modelo virtual 3D de uma boca (com dentes e gengiva) e um modelo virtual 3D representando a escova de dente, no qual foi guiada pelo usuário por meio do dispositivo háptico.

Como discutido na seção 2.2.1 do Capítulo 2, o dispositivo utilizado neste trabalho é o PHANToM *Omni* da *SensAble Technologies Inc.*, o qual pertence ao grupo com apenas um ponto de interação. Neste caso, o ponto ficou posicionado entre as cerdas da escova de dente, local em que o usuário tocou os objetos representados pelos dentes e gengiva no ambiente virtual.

4.2.2.1 Aspectos Éticos da Pesquisa

Esta investigação foi aprovada pelo Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) do Hospital Universitário Lauro Wanderley (HULW) da UFPB, sob Protocolo CEP/HULW n°. 215/09, FR: 285645 (Anexo A). A coleta de dados, referente aos testes, foi realizada no Laboratório de Tecnologias para o Ensino Virtual e Estatística (LabTEVE) no Departamento de Estatística (DE) do Centro de Ciências Exatas e da Natureza (CCEN/UFPB). Todos os usuários que participaram do teste leram e assinaram o Termo de Consentimento que se encontra no Anexo B deste documento.

4.2.2.2 Desenvolvimento do Protótipo

O protótipo do jogo aplicado nos testes foi desenvolvido utilizando o *framework* livre *CyberMed* [Souza *et al.*, 2007]. Este *framework* é caracterizado por facilitar a criação de aplicações para a área de saúde no contexto de uma aplicação baseada em RV [Cunha *et al.*, 2009]. Seus componentes incluem um conjunto de classes responsáveis por tarefas, como geração de visualização estereoscópica, controle de deformação, detecção de colisão, interatividade, suporte a dispositivos hápticos, dentre outros.

Os modelos virtuais foram criados por meio de ferramentas livres de modelagem. Depois de finalizados os modelos, os mesmos foram integrados à aplicação a partir de funcionalidades de importação do *framework*. A Figura 28 ilustra os modelos da boca e da escova de dente criados para o protótipo.

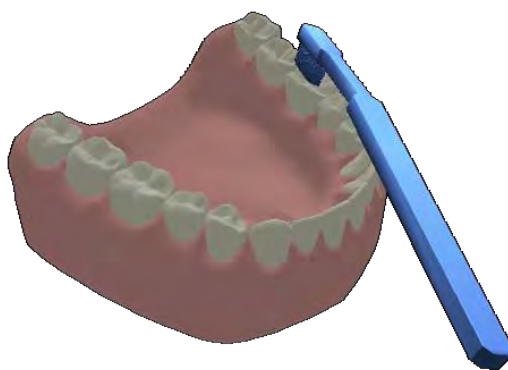


Figura 28. Modelos virtuais da boca e escova de dente utilizada no protótipo.

4.2.2.3 Elaboração das Tarefas

Para o teste, foram elaboradas duas etapas de tarefas. A primeira avaliou a capacidade de o usuário sentir as propriedades materiais de duas esferas distintas no ambiente virtual, e a segunda, a capacidade de realizar os movimentos corretos de escovação.

Para a primeira etapa, foram inseridas no ambiente virtual duas esferas, cada uma com uma propriedade material diferente. Na esfera do lado esquerdo, estavam definidas propriedades que simulavam maciez, relacionando-se as propriedades de uma gengiva. Na esfera do lado direito, por sua vez, estavam definidas propriedades que simulavam rigidez, relacionando-se as propriedades de um dente (Figura 29). O *cursor* azul presente na Figura 29 refere-se ao dispositivo háptico, neste caso, não sendo utilizado o modelo da escova de dente.

Para a inserção destas propriedades, o especialista de Odontologia foi chamado para garantir que as mesmas poderiam representar de alguma forma, as propriedades reais das estruturas.



Figura 29. Esferas com propriedades materiais diferentes aplicadas no teste.

Para segunda etapa das tarefas, foram inseridos os modelos virtuais da boca e da escova de dente. A Figura 30 apresenta os quatro movimentos que os usuários realizaram utilizando o dispositivo háptico.

O primeiro foi para escovar os dentes anteriores (frontais) na face externa fazendo movimentos de baixo para cima. Do segundo ao quarto foram para escovar os dentes laterais, cada um em uma face específica: externa, interna e mastigatória, respectivamente, sendo que apenas na face mastigatória o movimento pedido era de “vai e vem”.

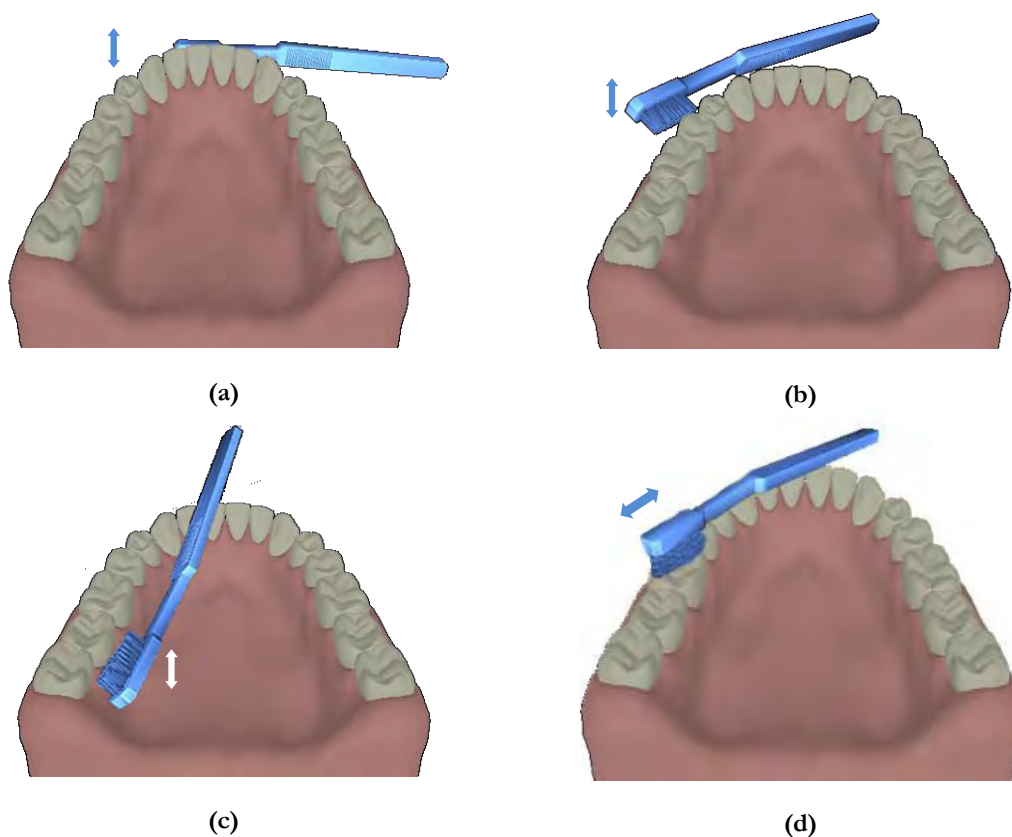


Figura 30. Movimentos realizados pelos usuários – a) Dentes frontais (face externa); b) Dentes laterais (face externa); c) dentes laterais (face interna); d) dentes laterais (face mastigatória).

4.2.2.4 Elaboração dos Formulários

Depois de finalizada a construção do protótipo e suas tarefas, iniciou-se a elaboração dos formulários. Esta etapa teve apoio dos profissionais da Odontologia, Computação e Estatística.

O formulário foi composto por cinco grupos de perguntas: as relacionadas às propriedades materiais, aos movimentos de escovação, a utilização do

dispositivo háptico, ao próprio usuário e a utilização de computadores pelos usuários (Apêndice A).

A aplicação deste formulário se deu por meio de uma entrevista com os usuários que participaram do teste. As respostas obtidas foram analisadas descritivamente, mediante valores absolutos e percentuais. A partir destes resultados se definiu quais tarefas e níveis de dificuldades eram mais adequados ao *serious game* proposto.

4.2.2.5 Realização dos Testes

Os testes com o protótipo do jogo relacionado às propriedades materiais e aos movimentos de escovação foram realizados no Laboratório de Tecnologias para o Ensino Virtual e Estatística da UFPB. O local foi escolhido devido à necessidade do dispositivo háptico não poder ser removido para outros locais pela sua fragilidade e tamanho, como também, por já ter toda a infraestrutura montada para a realização dos testes. Antes de iniciar os testes, cada usuário recebeu uma pequena explicação de como funcionava o dispositivo háptico, algumas características e limitações.

Os adultos interagiram inicialmente com a etapa referente às propriedades materiais dos objetos virtuais, tocando cada uma de forma individual e explorando suas características. Após essa interação, foi feito pelo entrevistador as perguntas referentes a esta etapa, questionando sobre o que o usuário tinha “percebido” ou “sentido” em cada uma das esferas.

Depois foi realizada a segunda etapa dos testes, na qual os usuários tentaram realizar os movimentos de escovação de acordo com técnica definida. As perguntas referentes a esta fase foram preenchidas pelo entrevistador de acordo com o que ele tinha analisado no momento do usuário realizar os movimentos, ou seja, o entrevistador registrou se o usuário realizou o movimento com facilidade, com dificuldade ou se não conseguiu realizar o movimento pedido.

Vale salientar que para realizar o movimento com facilidade, o usuário não necessariamente precisava girar a escova em um ângulo de 45° e fazer movimentos vibratórios, mas sim, fazer os movimentos de varredura da raiz até

a ponta dos dentes. Depois de finalizada todas as tarefas, foram feitas os três últimos grupos de perguntas.

Os testes avaliaram o desempenho e a opinião de 25 adultos. O tempo médio para a realização de todas as etapas e preenchimento do formulário foi de 5 minutos para cada um. A Figura 31 ilustra um usuário realizando o teste e interagindo com o protótipo do jogo por meio do dispositivo háptico.



Figura 31. Usuário interagindo com o protótipo do jogo.

4.2.2.6 Resultados

De maneira geral, os resultados mostraram que os usuários tiveram facilidade em utilizar o dispositivo háptico com o protótipo. A maioria conseguiu realizar todos os movimentos de escovação, sendo alguns com maior facilidade e outros, com um pouco menos. Nesta etapa de avaliar os resultados, foi chamado o especialista da área de Estatística que ajudou na análise e construção dos gráficos.

A etapa dos testes sobre as propriedades materiais mostrou que 60% dos usuários não conseguiram sentir a diferença entre a esfera da esquerda com a esfera da direita antes do entrevistador fazer a pergunta, só depois de saber que cada esfera possuía uma propriedade diferente, os usuários prestaram mais atenção e perceberam que uma era mais rígida do que a outra. Apenas 36% conseguiram perceber no primeiro momento e 4% não conseguiram sentir a

diferença mesmo depois de saber que as mesmas se distinguíam entre si (Figura 32).

Dos usuários que conseguiram sentir a diferença, 84% indicaram corretamente que a esfera da esquerda era mais macia e a esfera da direita era mais rígida. O restante respondeu o inverso.

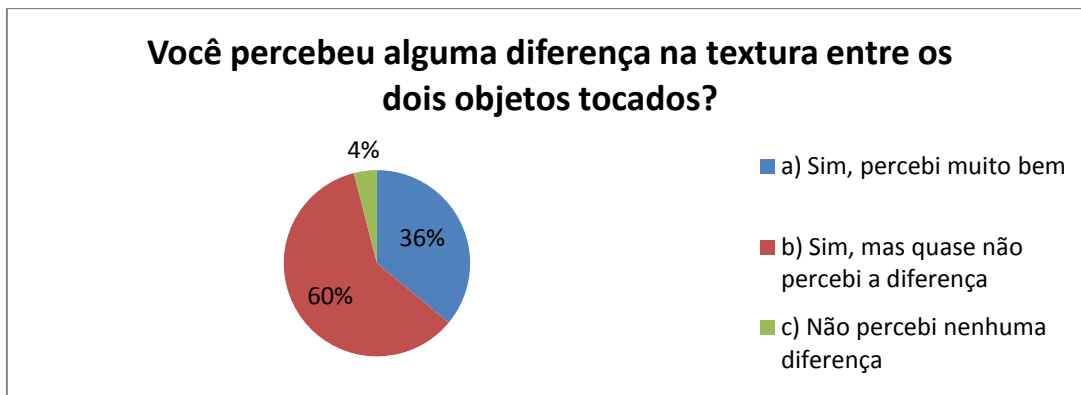


Figura 32. Percepção dos usuários sobre as propriedades materiais das esferas.

Referente à segunda etapa dos testes, o entrevistador analisou os movimentos de escovação realizados pelos usuários. Com 100%, o movimento realizado com maior facilidade foi o de escovar os dentes laterais na face mastigatória. Com relação aos demais, colocando-se em ordem do mais fácil para o mais difícil ficaram: dentes frontais (face externa), dentes laterais (face externa) e os dentes laterais (face interna).

É importante destacar que dentre os usuários que conseguiram movimentar a escova com o dispositivo háptico e realizar corretamente os movimentos, estão usuários que já possuem experiência com a utilização de computadores (84%), como também, usuários que nunca tiveram contato anteriormente com um computador (16%). Estes dados sugerem que o dispositivo háptico é um instrumento fácil, com boa usabilidade e capaz de ser usado por qualquer pessoa, independente do seu conhecimento e habilidade com computadores.

Com relação às perguntas referente à utilização do dispositivo háptico, 68% dos usuários responderam que se sentiram bastante confortáveis com o dispositivo, e os 32% restantes, disseram que se sentiram poucos confortáveis. No entanto, 84% deles relataram ser um dispositivo fácil de utilizar e apenas 8%

consideraram difícil sua utilização. Também é importante destacar nesta etapa, que dos usuários que acharam o dispositivo fácil, havia pessoas com nenhum nível de escolaridade, e dentro dos que acharam difícil, pessoas com nível de escolaridade alto. Estes dados sugerem que a facilidade de uso com o dispositivo não está associada ao nível de conhecimento educacional, e sim, a experiência prática com outros tipos de equipamentos e ferramentas.

Como pode ser visto das Figuras 33 e 34, a faixa etária dos entrevistados e o sexo foram equilibrados. Conseguindo-se assim, um conjunto de pessoas com experiências e opiniões diversificadas. Todos os resultados obtidos nos testes podem ser visualizados no Apêndice B deste documento.

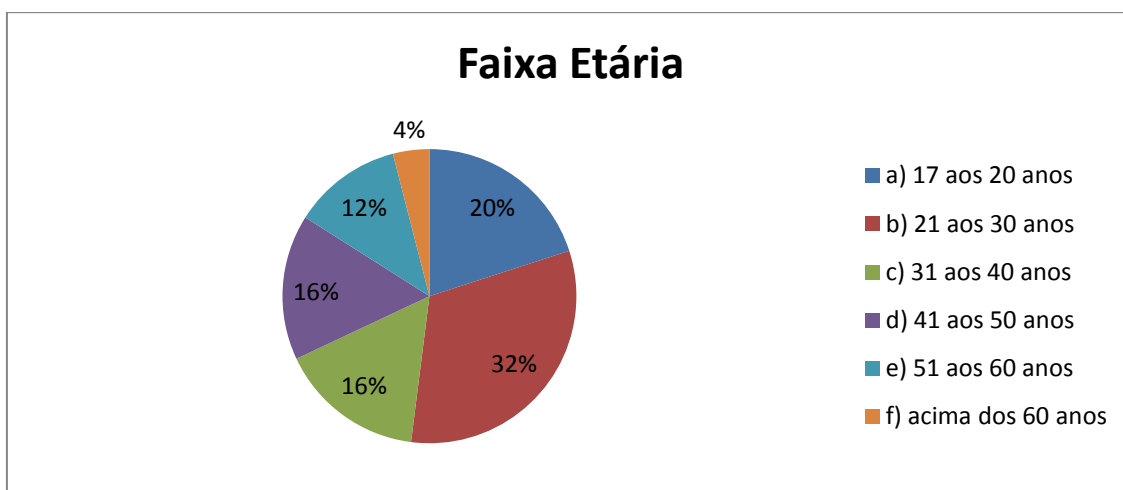


Figura 33. Distribuição dos usuários de acordo com a faixa etária.

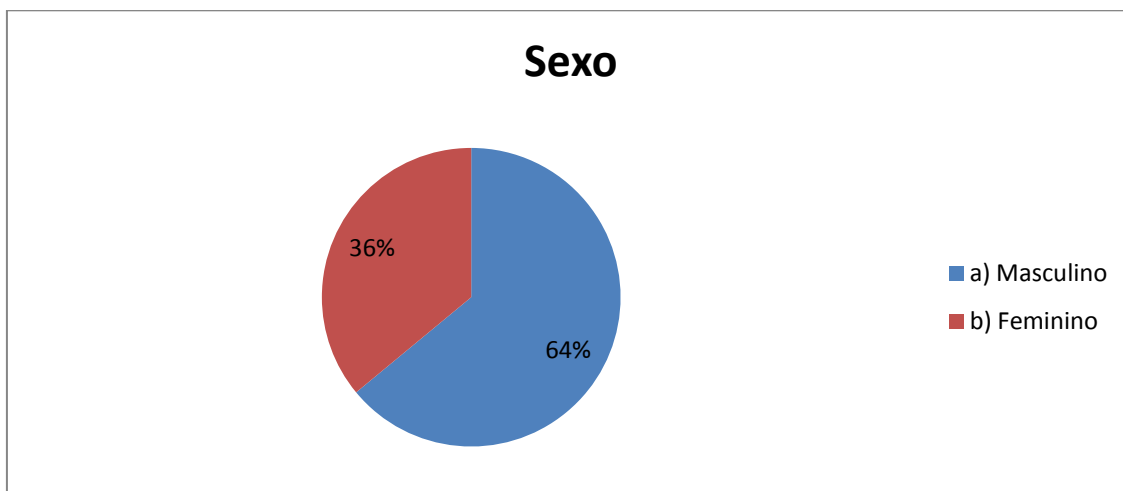


Figura 34. Distribuição dos usuários de acordo com o gênero.

4.2.3 Definição das Tarefas e Conteúdos Pedagógicos

A partir dos resultados obtidos na realização dos testes com o protótipo do jogo, puderam-se definir quais seriam as tarefas e os níveis de dificuldades. Assim, dentre as tarefas feitas pelos usuários, ficou sugerido que o jogo terá três níveis de dificuldade, cada um seguindo os movimentos que foram realizados com maior facilidade até os que foram executados com maior dificuldade. A Tabela 6 apresenta as tarefas e os níveis definidos.

Tabela 6. Níveis e tarefas definidas para o “TouchBrush Game”.

Níveis	Tarefas
Nível 1	<p>No total de 5 tarefas, escovar:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Todo o dente; ➤ Face mastigatória (oclusal); ➤ Face frontal; ➤ Face lateral direita; ➤ Face lateral esquerda.
Nível 2	<p>No total de 4 tarefas, escovar:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Dentes laterais inferiores (direito e esquerdo) na face mastigatória; ➤ Dentes laterais superiores (direito e esquerdo) na face mastigatória.
Nível 3	<p>No total de 3 tarefas, escovar:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Dentes anteriores (frontais) na face externa; ➤ Dentes laterais (direito e esquerdo) na face externa.

Ficou decidido, juntamente com a equipe multidisciplinar, que no primeiro nível seria interessante colocar tarefas simples no qual o jogador pudesse ir se acostumando com o dispositivo háptico até o mesmo possuir um pouco mais de experiência e destreza manual para passar para o próximo nível. Com isso, ao invés de uma boca completa com todos os dentes e gengiva (Figura 35b), o modelo virtual é um único dente, como o mostrado na Figura 35a.



Figura 35. Modelos virtuais utilizados para as tarefas – (a) dente; (b) boca com dentes e gengiva.

Com relação às propriedades materiais dos objetos, ficou decidido que não será aplicado no jogo, pois como os usuários não conseguiram perceber facilmente estas características, as mesmas se tornariam desprezadas por eles durante a interação. O objetivo do jogo também foi requisito para não inserir estas propriedades, pois como as tarefas são relacionadas à escovação, e o objetivo é propiciar o aprendizado sobre os movimentos corretos e as áreas importantes da boca para uma boa higienização bucal, fica irrelevante o usuário saber por meio das propriedades se está tocando na gengiva ou no dente na hora da interação. Neste caso, o usuário poderá receber este retorno visualmente pelo monitor. Mas caso o jogo tivesse como objetivo ensinar práticas cirúrgicas em periodontia, por exemplo, as propriedades materiais seriam fundamentais para o realismo da aplicação.

Para finalizar com as atividades da disciplina de Projeto de Conteúdo Específico, além da definição das tarefas e dos três níveis de dificuldades, também foi decidido pela equipe multidisciplinar que seria importante adicionar mais conteúdo como dicas de saúde bucal, para ampliar ainda mais a quantidade de informações transmitidas para o usuário.

Com isso, decidiu-se que além da descrição da tarefa e dos movimentos que o jogador deverá realizar para conseguir completar a tarefa com sucesso, deve conter também informações adicionais como dicas, dados e sugestões sobre saúde bucal. E para as telas de “tarefa incompleta”, inserir informações sobre problemas ou doenças que um adulto pode adquirir pela má higienização bucal.

Dentre estas doenças, incluem a cárie, a gengivite, o tártaro, a sensibilidade dos dentes e o mau hálito.

Finalizadas as principais atividades para a definição do conteúdo específico do *serious game*, iniciaram-se as atividades da disciplina de Gerenciamento da Game Bible, no qual se definiram com certa profundidade os elementos mais importantes inseridos no jogo, como o roteiro, a conceituação artística (*game design*), a jogabilidade (*game play*), mecânica e as interfaces *ingame* e *outgame* [Machado *et al.*, 2009]

Nos *serious games*, a *Game Bible* é utilizada para guiar todo o processo de desenvolvimento do jogo, contendo suas especificações e também o histórico de sua evolução conceitual. Do mesmo modo que nos jogos eletrônicos e de entretenimento, nenhum desenvolvimento ou implementação deve ser iniciado sem que essa especificação esteja completamente pronta. A *Game Bible* do jogo encontra-se no Apêndice C deste documento.

A partir dos resultados obtidos na fase de Concepção com as disciplinas de Análise de Requisitos, Gerenciamento do Projeto de Conteúdo Específico e *Game Bible*, a fase de Pré-Produção com a disciplina de Projeto Técnico foi iniciada para definir e especificar os elementos técnicos de implementação do jogo.

A seguir são apresentadas as tecnologias consideradas imprescindíveis para a construção do *serious game* e que permita satisfazer os requisitos inicialmente definidos neste trabalho: o motor gráfico, o motor de física e a biblioteca para integração com o dispositivo háptico.

4.2.4 Tecnologias Envolvidas

A *SensAble Technologies Inc.* possui um *toolkit* para desenvolvimento de aplicações utilizados pelos seus dispositivos hápticos. Como definido anteriormente, este trabalho utiliza o dispositivo PHANToM *Omni*, e com isso, a solução utilizada para fazer a integração do dispositivo com as demais tecnologias é a *OpenHaptics Toolkit* versão 3.0 e edição acadêmica também criada pela *SensAble Technologies Inc.*

A Figura 36 apresenta a arquitetura da *OpenHaptics* dividida em quatro camadas principais: PHANTOM *Device Drivers* (PDD), *Haptic Device API* (HDAPI), *Haptic Library API* (HLAPI) e *QuickHaptics*.

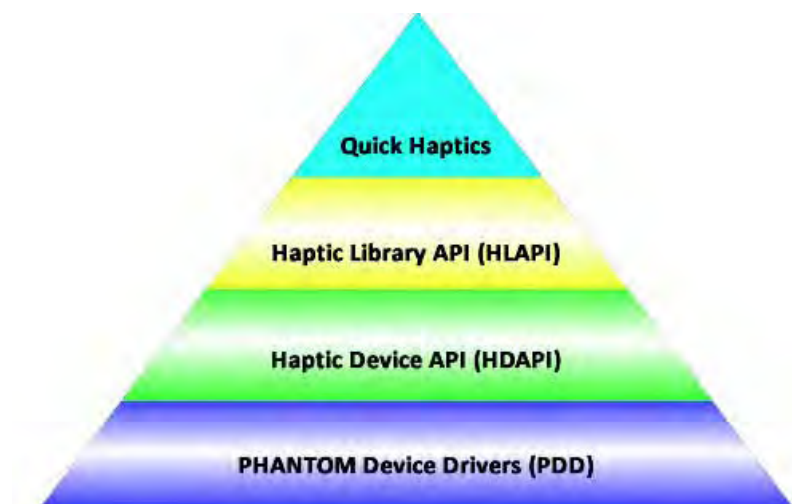


Figura 36. Arquitetura da biblioteca *OpenHaptics Toolkit* da *SensAble Technologies Inc.*

A componente gráfica do *OpenHaptics* baseia-se em OpenGL, o que torna esta plataforma mais familiar para os seus desenvolvedores. Algumas das vantagens deste *toolkit* passam pelo fato de suportar extensões de modelos 3D tais como *.3ds*, *.obj*, *.stl* ou *.ply* e de integrar perfeitamente a sua camada de alto nível com as camadas de mais baixo nível [SensAble Technologies, 2007].

Sua melhor característica reside na possibilidade de os desenvolvedores construírem uma cena com interação háptica de forma relativamente simples e bastante rápida. Esta plataforma pode ser executada em ambiente Windows, Linux ou MacOS X. No entanto, apresenta desvantagens consideráveis, tais como, não ter uma biblioteca que faça a simulação do comportamento físico dos objetos, de funcionar exclusivamente para os dispositivos hápticos da *SensAble* e ainda a impossibilidade, na versão acadêmica, de ler o código-fonte, o que permitiria dessa forma, implementar eventuais melhorias e aplicar possíveis alterações mediante as necessidades específicas do problema.

4.2.4.1 O Motor Gráfico

Um motor gráfico é um *software*, frequentemente construído com base em bibliotecas gráficas como OpenGL ou DirectX, que permite a renderização de cenas 2D ou 3D, sendo utilizado especialmente em jogos. As principais características de um motor gráfico para este trabalho estão relacionadas com a

capacidade de realizar um bom gerenciamento de cena, a capacidade de carregar modelos 3D, se integrar facilmente com motores de física, possuir uma documentação rica, facilidade de uso, bem como uma quantidade diversificada de plataformas para sua execução.

Identificados os requisitos que se pretende obter do motor gráfico, revela-se necessário definir, dentre as opções atualmente disponíveis, aquele que melhor se ajusta às necessidades identificadas. Assim, a seguir são analisados alguns motores existentes, tendo sido escolhidos para esta análise aqueles que são mais populares. Os motores gráficos analisados foram: Panda3D, OGRE, OpenSceneGraph, Crystal Space 3D e Irrlicht.

O Panda3D¹⁶ é um motor de jogo 3D - também utilizado apenas como motor gráfico - desenvolvido pela Disney e pela Universidade Carnegie Mellon. Ele foi desenvolvido em C++, mas fornece um *binding* para a linguagem de *script* Python. Utilizando o Panda3D é possível navegar em cenas 3D, utilizar saída estereoscópica com anaglifo e multiplexação, sensores de posição entre outras funcionalidades. Cabe ressaltar que este motor é de código livre. Além dos recursos para manipulação de imagens e ambientes desta biblioteca, destaca-se a baixa curva de aprendizagem, o rápido desenvolvimento de ambientes, a fácil instalação, a documentação, os exemplos disponíveis e o suporte aos sistemas operacionais Windows, Linux e MacOS X.

O OGRE¹⁷ (*Object-Oriented Graphics Rendering Engine*) é um dos mais famosos motores gráficos 3D existentes. É flexível, escrito em C++ e concebido para tornar mais fácil e intuitiva a criação de aplicações que utilizam gráficos 3D. As suas bibliotecas abstraem todos os detalhes da utilização do sistema de bibliotecas subjacentes como Direct3D e OpenGL. Este motor gráfico é compatível com Linux, MacOS X, mas suas versões mais estáveis são para Windows. Ele também se caracteriza por ter uma interface orientada a objetos simples e fácil, concebida para minimizar o esforço necessário para renderizar cenas 3D. O OGRE é reconhecido como sendo um motor estável, comprovando-se pelo seu uso no desenvolvimento de diversos produtos comerciais de sucesso.

¹⁶ Fonte: <http://panda3d.org>

¹⁷ Fonte: <http://www.ogre3d.org>

O OpenSceneGraph¹⁸ é uma biblioteca de gerência de cenas 3D baseada em grafos, que implementa vários algoritmos de otimização. A biblioteca foi projetada com uma visão clara de engenharia de *software*, utilizando diversos padrões de projetos para permitir que a biblioteca seja facilmente expansível e que suporte todos os recursos que podem ser necessários a aplicações de RV. Apesar da grande expansibilidade, o OpenSceneGraph é preso com à renderização OpenGL, de forma que não pode ser usada em algumas plataformas. Em todas as plataformas no qual a OpenGL é suportada, como Windows, Linux, MacOS X e outras, o OpenSceneGraph pode ser utilizado diretamente, inclusive com suporte a renderização em processos leves, de forma a não bloquear o processamento principal do aplicativo devido à comunicação com o *hardware*. Finalmente, a biblioteca acompanha uma grande quantidade de exemplos para demonstrar todas as suas funcionalidades, mas um projeto de ampla documentação ainda está em progresso.

Crystal Space 3D¹⁹ é um motor gráfico para o desenvolvimento de aplicações 3D escrito em C++. Ele é um *software open source* que tem suporte a Windows, Linux e MacOS X. Sua documentação é boa, com exemplos de suas capacidades básicas e há também um editor de cenários. Destaca-se nesta ferramenta a modularidade de seus componentes, visto que funcionam de maneira independente uns dos outros. O Crystal Space 3D disponibiliza diversas funcionalidades como suporte a renderização em OpenGL, SDL, X11 e SVGALib, mapeamento de texturas com perspectiva de sombreamento, iluminação estática, iluminação dinâmica colorida com sombreamento transparente e semitransparente, suporte a árvores BSP, suporte a superfícies curvas, suporte a correção de profundidade e neblina volumétrica colorida, detecção de colisão, suporte a sons 3D, movimentação de objetos e *scripts* para controle da movimentação.

Por último, o motor de jogos Irrlicht²⁰ é um projeto *open source* escrito em C++ e também disponível para linguagens .NET. Utiliza o Direct3D, OpenGL e o seu próprio *software* de renderização, e possui todas as

¹⁸ Fonte: <http://www.openscenegraph.org>

¹⁹ Fonte: <http://www.crystalspace3d.org>

²⁰ Fonte: <http://irrlicht.sourceforge.net>

características esperadas num motor de jogos 3D convencional. O *software* pode ser utilizado em qualquer sistema operacional e caracteriza-se por importar diretamente diversos formatos de objetos tais como *.obj*, *.3ds*, *.b3d*, entre outros. Apresenta ainda uma API de alto nível capaz de criar aplicações como jogos ou visualizações científicas. Está disponível também uma excelente documentação e integra todos os recursos necessários para a representação visual, tais como sombras dinâmicas, animação de personagens, tecnologia de interiores/exteriores e detecção de colisões. O Irrlicht caracteriza-se pelo seu pequeno tamanho, pela compatibilidade com o *hardware* de diferentes gerações, pela facilidade de aprendizagem, e ainda por possuir uma vasta comunidade de colaboradores.

Com a apresentação dos motores gráficos e a descrição das suas características, foi realizada uma análise para a escolha de qual motor utilizar no projeto. A Tabela 7 resume as pontuações de cada quesito analisado. Quanto maior a incidência do símbolo “+” na tabela, maior será a pontuação, sendo apenas um símbolo como a menor pontuação e três símbolos como a maior.

Tabela 7. Pontuações para a análise dos motores gráficos.

Motor Gráfico	Documentação	Integração com motores de física	Fácil de usar	Recursos	Plataformas
Panda3D	++	++	+++	++	Windows, Linux, MacOS X.
OGRE	+++	++	+	+++	Windows, Linux, MacOS X.
OpenSceneGraph	+	+	++	+++	Windows, Linux, MacOS X, FreeBSD.
Crystal Space 3D	++	+	+	+++	Windows, Linux, MacOS X.
Irrlicht	++	+++	+++	+++	Windows, Linux, MacOS X.

Como é possível observar na Tabela 7, o motor Irrlicht foi o que obteve um melhor resultado geral de pontuações, considerando todos os requisitos que foram descritos para esta análise. Assim, o Irrlicht foi escolhido como o motor gráfico utilizado para o *serious game* “TouchBrush Game”.

4.2.4.2 O Motor de Física

Um motor de física permite simular comportamentos físicos da vida real, considerando variáveis como massa, velocidade e atrito, sendo especialmente utilizado em simulações científicas ou em jogos.

Para a escolha dos motores de física neste trabalho, foram analisados cinco critérios: estabilidade/consistência, documentação rica, integração com diferentes motores gráficos, velocidade de cálculos e serem livres e gratuitos. Assim, os motores de física avaliados foram: Open Dynamics Engine, Bullet Physics Library e Newton Game Dynamics.

O Open Dynamics Engine (ODE)²¹ é um motor *open source*, de alto desempenho para simular dinamicamente corpos rígidos. É uma solução estável, madura e independente de plataforma, implementada em C/C++ e com uma API bastante acessível. Tem tipos avançados de detecção de colisão conjunta e integrada com o atrito. O ODE é útil para a simulação de veículos e objetos em ambientes de realidade virtual. Até o momento, o ODE já foi usado em diversos jogos, ferramentas de criação 3D e ferramentas de simulação. Uma das principais vantagens é ser facilmente integrado com outros motores gráficos e ferramentas.

O Bullhet Physics Library²² ou simplesmente Bullet, é um motor *open source* de detecção de colisão para jogos e efeitos visuais para cinema. É permitida a sua utilização gratuita para o uso comercial, sob a licença Zlib. Atualmente, este motor de física é utilizado em vários projetos, mas como seu lançamento é recente comparado aos demais motores, sua documentação ainda está em evolução e a comunidade de colaboradores continua crescendo.

O Newton Game Dynamics²³ é uma solução integrada de simulação em tempo real de ambientes físicos. A API permite a gestão da cena, detecção de colisões e comportamento dinâmico, sendo um *software* pequeno, rápido, estável e fácil de usar. Este motor implementa uma solução determinista, que não se baseia em LCP tradicionais ou métodos iterativos, mas possui a estabilidade e

²¹ Fonte: <http://www.ode.org>

²² Fonte: <http://www.bulletphysics.com>

²³ Fonte: <http://www.newtondynamics.com>

velocidade de ambos. Esta característica torna o mesmo uma ferramenta não só para jogos, mas também para qualquer simulação de física em tempo real. Apesar de não ser possível visualizar o código-fonte, sua utilização é gratuita. Muitos projetos não comerciais, comerciais e acadêmicos usam o Newton, como também, é uma escolha popular nos motores gráficos Irrlicht e OGRE.

Com a apresentação dos motores de física e descrição das suas características, foi realizada uma análise para a escolha de qual motor utilizar no projeto. A Tabela 8 resume as pontuações de cada quesito analisado. Da mesma forma que a análise dos motores gráficos, quanto mais símbolos “+” na tabela, maior a sua pontuação, sendo um (“+”) símbolo como a menor e três (“+++”) como a maior.

Tabela 8. Pontuações para a análise dos motores de física.

Motor de Física	Estabilidade	Documentação	Integração com motores gráficos	Velocidade de cálculo
ODE	+++	++	+++	++
Bullet	++	++	++	+++
Newton	+++	+++	+++	+++

Como é possível observar na Tabela 8, o motor de física Newton Game Dynamics foi o que obteve um melhor resultado geral de pontuações, considerando todos os requisitos que foram descritos para esta análise. Assim, o Newton Game Dynamics foi escolhido como o motor de física utilizado para o *serious game* “TouchBrush Game”.

Definido e especificado os elementos técnicos que são utilizados no *serious game*, a fase de Produção com a disciplina de Implementação foi iniciado. No Capítulo 5, é descrito em mais detalhes todas as atividades desta disciplina.

4.3 Considerações

Neste capítulo foi apresentado o modelo de processo de desenvolvimento de *serious game* chamado *Serious Game Unified Process* (SGUP), que se fundamenta em gerenciar tanto aspectos de conteúdo específico, quanto computacionais relacionados aos jogos. Assim, baseando-se no modelo prescritivo RUP, foram criados duas novas disciplinas: Gerenciamento do

Projeto de Conteúdo Específico e Gerenciamento da *Game Bible*. Estas duas disciplinas são importantes para garantir a qualidade do jogo, incorporando atividades que integram os especialistas da área em que o jogo está inserido com os de jogos. Para a aplicação deste processo, iniciou-se a construção do jogo “TouchBrush *Game*”, que possui como público-alvo os adultos e tem como objetivo informar e propiciar o aprendizado sobre conceitos relacionados à higiene bucal.

Ainda neste capítulo foi possível descrever as primeiras etapas de estudo e planejamento do jogo, analisando as técnicas de escovação existentes na literatura e escolhendo qual é a mais indicada para o público adulto. Foi realizado também uma investigação sobre a facilidade de uso e aceitação dos potenciais usuários quanto à utilização do dispositivo háptico como forma de interação.

De maneira geral, durante a investigação observou-se que os usuários tiveram facilidade em utilizar o dispositivo háptico realizando a maioria dos movimentos de escovação, sendo que alguns com uma maior facilidade e outros com uma maior dificuldade. Neste sentido, foram apresentadas as ideias gerais sobre as tarefas e os níveis de dificuldades, descrevendo os movimentos que os usuários deverão realizar e quais objetos virtuais estarão presentes no jogo. Também foi discutido sobre a adição de mais conteúdos relacionados à higiene bucal, como dicas, sugestões e doenças causadas pela má de higienização.

A partir do conteúdo definido e a *game bible* escrita, neste capítulo foi feito também uma análise sobre as principais ferramentas que serão utilizadas no desenvolvimento do jogo, como o motor gráfico, o motor de física e a biblioteca do dispositivo háptico. Dentre as ferramentas analisadas, as escolhidas foram Irrlicht como motor gráfico, Newton Game Dynamics como motor de física e *OpenHaptics Toolkit* como biblioteca para a integração do PHANToM *Omni*.