

UNIVERSIDADE DO EXTREMO SUL CATARINENSE – UNESC

CURSO DE CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

RICARDO JUNKES RICKEN

**A IMERSÃO NA VISUALIZAÇÃO E NA EXPLORAÇÃO DE AMBIENTES COM
USO DE REALIDADE VIRTUAL NA WEB**

CRICIÚMA, DEZEMBRO DE 2010

RICARDO JUNKES RICKEN

**A IMERSÃO NA VISUALIZAÇÃO E NA EXPLORAÇÃO DE AMBIENTES COM
USO DE REALIDADE VIRTUAL NA WEB**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado para
obtenção do Grau de Bacharel em Ciência da
Computação da Universidade do Extremo Sul
Catarinense.

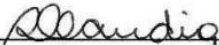
Orientadora: Prof^a. MSc. Leila Laís Gonçalves

CRICIÚMA, DEZEMBRO DE 2010

RICARDO JUNKES RICKEN

**A Imersão na Visualização e na Exploração de Ambientes com uso de
Realidade Virtual na Web**

Submetido ao corpo docente do Curso de Ciência da Computação da
Universidade do Extremo Sul Catarinense como um dos requisitos para obtenção do grau
de Bacharel em Ciência da Computação.

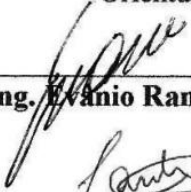


Profa. MSc. Ana Claudia Garcia Barbosa
Coordenadora do Curso de Ciência da Computação

Banca Examinadora:



Profa. MSc. Leila Laís Gonçalves (UNESC)
Orientadora



Prof. MEng. Evânio Ramos Nicoleit (UNESC)



Prof. Esp. Luciano Antunes (UNESC)

Dedico este trabalho aos meus pais
Anselmo e Maristela pelo apoio
incessável ao longo dos anos.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais Anselmo e Maristela, por estarem sempre do meu lado, me apoiando nos momentos mais difíceis da vida. Cheguei onde estou hoje graças a eles.

À minha orientadora Leila, pela paciência e dedicação que teve durante a realização desta pesquisa, sendo um exemplo como profissional e principalmente como pessoa. Foi uma grande satisfação termos trabalhado juntos.

Aos grandes amigos que fiz ao longo do curso, Renan, Lucas, Diogo, Claus, Bruno, Paulinha, Douglas. Vocês foram parte essencial desta longa caminhada, que não teria sido a mesma sem a sua presença.

Aos professores que conheci ao longo do curso, pelo conhecimento passado e pelo exemplo dado. Jamais esquecerei de figuras como o Prof. Paulo e o Prof. Arildo, que com toda a certeza marcaram a trajetória de todos que passaram pelo curso e tiveram a oportunidade de conhecê-los.

明日死ぬつもりで生きよ
永遠に生きるつもりで学べ
Mahatma Gandhi

RESUMO

A Realidade Virtual é uma interface avançada com o usuário, que permite um grau de interação que vai além do que interfaces comuns oferecem. Neste contexto, a imersão é o sentimento que o usuário tem de fazer parte de uma simulação ou ambiente virtual gerado por computador, e está geralmente associada ao estímulo dos vários sentidos do corpo humano. Com a recente evolução da Web e dos computadores pessoais, diversas tecnologias têm sido desenvolvidas visando o ambiente dinâmico da internet. Desta forma, esta pesquisa apresenta a modelagem de um ambiente virtual tridimensional explorável por meio de tecnologias de realidade virtual voltadas para a Web, visando proporcionar um certo grau de imersão ao usuário. Primeiramente foi realizada a modelagem do ambiente virtual por meio de ferramentas como o 3ds Max 2010, utilizando técnicas de modelagem populares. Com isso, foi feita a implementação de um protótipo a partir da exportação do ambiente modelado para a tecnologia X3D. As dificuldades encontradas durante a implementação foram todas documentadas de forma que ficasse evidente as limitações das ferramentas utilizadas. Desta forma, foi possível desenvolver um protótipo de visualização e exploração de ambientes virtuais baseado na tecnologia X3D, que pode ser acessado pela Web, sendo livremente navegável e explorável por meio de softwares de visualização. A partir dos resultados obtidos foi possível avaliar a imersão alcançada e o estágio atual das ferramentas e tecnologias utilizadas, que mostraram-se aquém do esperado no que diz respeito aos recursos da especificação X3D já implementados.

Palavras-chave: Realidade Virtual; Imersão; Ambientes Virtuais; X3D; Modelagem 3D.

ABSTRACT

Virtual Reality can be defined as an advanced user interface offering interaction that goes beyond what is provided in regular interfaces. On top of that, immersion is a feeling which makes the user believe to be part of a computer generated virtual environment or simulation, and is usually related to the stimulus of the various senses of the human body. Regarding the recent advances made in the realm of the World Wide Web and personal computers, a lot of technologies have been developed to take advantage of such dynamic environment. Therefore, this research features the complete modeling of a navigable virtual 3D environment using virtual reality technologies with focus on the Web, looking to provide a certain degree of immersion. Initially, the virtual environment was modeled with the aid of softwares like 3ds Max 2010, using popular modeling techniques. Afterwards, the virtual environment was exported to X3D, allowing the implementation of a sample application. A lot of setbacks were found along the way, which were all documented so that it was possible to identify the limitations in the softwares and tools used. As a result, a sample application for visualization and exploration of virtual environments based on the X3D technology was developed, which can be accessed through an internet connection and is fully navigable, although requiring the use of independent visualization software. Based on what was found in this research, it was possible to rate the degree of immersion achieved and the current state of tools and softwares used, which are beneath what was expected them to be regarding the available and implemented features of X3D specification.

Keywords: Virtual Reality; Immersion; Virtual Environments; X3D; 3D Modeling.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Foto promocional de um protótipo do Sensorama.	22
Figura 2. Perfis básicos do X3D.	28
Figura 3. Diferentes tipos de capacetes de imersão.	35
Figura 4. Luvas de dados para toque e retorno de força.	40
Figura 5. Anel de fumaça contendo um odor	42
Figura 6. Malha poligonal representando os pés de uma galinha.	45
Figura 7. Superfície gerada por meio de curvas NURBS.	46
Figura 8. Exemplo da aplicação de uma textura a um objeto 3D.	49
Figura 9. Tela do 3ds Max mostrando o modelo final da árvore.	60
Figura 10. Gabaritos utilizados na modelagem do tronco.	61
Figura 11. (a) planos perpendiculares (b) materiais (c) planos com os gabaritos.	61
Figura 12. Etapas do processo de modelagem do tronco.	62
Figura 13. Deformações na textura do tronco devido ao mapeamento cilíndrico.	63
Figura 14. Janela de edição de UVs do <i>3ds Max</i>	63
Figura 15. (a) mapeamento UV (b) imagem de referência (c) textura final.	64
Figura 16. (a) textura com seu respectivo (b) mapa de transparência.	65
Figura 17. Plane mapeado para representar os galhos da árvore.	65
Figura 18. (a) modificação para criar uma variação de árvore (b) resultado final.	66
Figura 19. (a) textura sobre a primitiva Plane (b) modelo final.	66
Figura 20. (a) grama alta (b) flor roxa (c) flor rosa (d) pinheiro (e) outra árvore.	67
Figura 21. Visualização do solo e das montanhas do AV.	67
Figura 22. (a) deformações na superfície do terreno (b) textura com <i>tiling</i>	68
Figura 23. (a) ferramenta <i>Soft Selection</i> (b) modelo final das montanhas.	69

Figura 24. Gabaritos para a modelagem da casa de rancho.....	70
Figura 25. Calçada modelada a partir de uma primitiva <i>L-Ext</i>	71
Figura 26. (a) <i>splines</i> para a criação das paredes (b) resultado da ferramenta <i>Loft</i>	71
Figura 27. (a) preparação para o uso do operador booleano (b) resultado final.....	72
Figura 28. Resultado final da modelagem da casa.	73
Figura 29. Atribuição de diferentes IDs aos polígonos do objeto.	73
Figura 30. Aplicando o modificador <i>UVW Map</i> nos grupos de polígonos.	74
Figura 31. (a) material <i>Multi/Sub-Object</i> (b) resultado obtido.....	74
Figura 32. Modelo final da casa de rancho.....	75
Figura 33. Resultado final da modelagem do Ambiente Virtual.....	76
Figura 34. (a) câmera apontando para a casa (b) luz posicionada acima do AV.....	76
Figura 35. Limitação da versão gratuita do <i>Octaga Exporter</i>	77
Figura 36. Visualização do AV no <i>Octaga Player</i>	78
Figura 37. Erro na visualização do AV no <i>Instant Player</i>	79
Figura 38. Linha onde o <i>Instant Player</i> indicava a existência de um erro.	80
Figura 39. Problemas na visualização com o <i>Instant Player</i>	80
Figura 40. Tentativa de utilização do <i>FreeWRL</i> para visualizar o AV.....	81
Figura 41. Visualização do AV modelado no <i>SwirlX3D</i>	82
Figura 42. Parte do código-fonte do arquivo gerado pelo <i>Octaga Exporter</i>	83
Figura 43. Texturas com transparência corrigida no <i>SwirlX3D</i>	83
Figura 44. Nó <i>NavigationInfo</i> com as configurações de navegação do AV.....	84
Figura 45. Explicação do atributo <i>avatarSize</i> do nó <i>NavigationInfo</i>	85
Figura 46. Nó <i>Viewpoint</i> gerado a partir de uma câmera definida no <i>3ds Max</i>	86
Figura 47. Problema com a iluminação do AV a partir da <i>Point Light</i> definida.....	86
Figura 48. Nó <i>Background</i> utilizado para criar um <i>skybox</i>	87

Figura 49. Ausência de suporte a geração de <i>skybox</i> por parte do <i>SwirlX3D</i>	87
Figura 50. Erro exibido pelo <i>SwirlX3D</i> ao tentar reproduzir um nó de áudio.....	88

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AV	Ambiente Virtual
CAD	Computer-Aided Design
CAVE	Cave Automatic Virtual Environment
CRT	Cathode Ray Tube
DDS	DirectDraw Surface
ID	IDentificador
ISO	International Standards Organization
LCD	Liquid Crystal Display
MMOG	Massively Multiplayer Online Game
NURBS	Non-Uniform Rational B-Splines
PNG	Portable Network Graphics
RPG	Role-Playing Game
RV	Realidade Virtual
VRML	Virtual Reality Modeling Language
W3C	World Wide Web Consortium
X3D	eXtensible 3D Graphics
XML	eXtensible Markup Language

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 OBJETIVOS GERAIS	16
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
1.3 JUSTIFICATIVA	17
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO	18
2. REALIDADE VIRTUAL	20
2.1 CONCEITOS.....	20
2.2 CONTEXTO E EVOLUÇÃO	22
2.3 CARACTERÍSTICAS.....	23
2.4 TECNOLOGIAS	25
2.4.1 VRML	25
2.4.2 X3D	27
2.5 RV EM AMBIENTES WEB.....	29
2.5.1 Second Life	30
2.5.2 MMOG	31
3 IMERSÃO EM AMBIENTES VIRTUAIS	32
3.1 CARACTERÍSTICAS.....	33
3.2 EXEMPLOS	33
3.2.1 Cave Automatic Virtual Environment	34
3.3 TECNOLOGIAS	34
3.3.1 Visão e Interfaces de Visualização	34
3.3.1.1 Capacete de Imersão.....	35
3.3.2 Audição e Interfaces Auditivas	36

3.3.2.1 Reprodução eletroacústica	38
3.3.3 Toque e Interfaces Hápticas	39
3.3.3.1 Luva de Dados	40
3.3.4 Olfato e paladar	40
3.3.4.1 Interfaces de Olfato	41
4 MODELAGEM DE AMBIENTES VIRTUAIS	44
4.1 MODELAGEM POLIGONAL	44
4.2 NURBS	46
4.3 REPRESENTAÇÃO DE AMBIENTES VIRTUAIS	46
4.3.1 Formas de Representação	47
4.3.1.1 Superfícies	47
4.3.1.2 Sólidos	48
4.3.2 Características	48
4.3.2.1 Textura.....	48
4.3.2.2 Cor	49
4.3.2.3 Reflexão.....	49
4.3.2.4 Refração.....	50
4.3.2.5 Animação.....	50
4.4 FERRAMENTAS DE MODELAGEM	51
4.4.1 Autodesk 3ds Max	51
4.4.2 Blender.....	52
4.4.3 X3D-Edit.....	52
4.4.4 Adobe Photoshop	53
5 TRABALHOS CORRELATOS	54
5.1 DESERTESEJO: UM PROJETO DE AV MULTIUSUÁRIO NA WEB.....	54

5.2 SISTEMAS DE RV PARA SUPORTE AO ENSINO	54
5.3 DA IMERSÃO À EMOÇÃO: A PRESENÇA EM JOGOS DIGITAIS	55
5.4 REALIDADE VIRTUAL E EXPERIÊNCIA DO ESPAÇO	56
5.5 MODELAGEM DE AMBIENTES VIRTUAIS PARA JOGOS ELETRÔNICOS	55
6 PROTÓTIPO PARA VISUALIZAÇÃO E EXPLORAÇÃO IMERSIVA DE UM AMBIENTE VIRTUAL NA WEB.....	57
6.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO ESTUDO DE CASO.....	58
6.2 METODOLOGIA.....	59
6.2.1 Modelagem do Ambiente Virtual.....	60
6.2.1.1 Vegetação	60
6.2.1.2 Solo.....	67
6.2.1.3 Construções	70
6.2.1.4 Céu.....	75
6.2.1.5 Montagem do Ambiente Virtual.....	76
6.2.2 Implementação do Protótipo	77
6.3 RESULTADOS OBTIDOS	89
7 CONCLUSÃO.....	92
REFERÊNCIAS	95

1 INTRODUÇÃO

Realidade Virtual (RV) é uma tecnologia que permite que um usuário interaja com um ambiente simulado por computador, seja este ambiente uma simulação do mundo real ou um lugar imaginário (KRUEGER, 1991, tradução nossa).

Neste contexto, a imersão, melhor expressada pela sensação de presença, pode ser vista como a principal característica da RV. Seu principal objetivo é proporcionar sensações ao usuário. A qualidade destas sensações depende muito do nível de detalhes proporcionado pela simulação, e é ela que determina o quanto o usuário acredita estar interagindo com um ambiente real (CARDOSO, 2003).

Além da imersão, a realidade virtual é constituída de interação e envolvimento. A interação é a capacidade do usuário interagir com os objetos do ambiente virtual, de forma realística e natural. O envolvimento, por sua vez, é um resultado da imersão e da interação, e constitui a motivação do usuário em usufruir do ambiente virtual (HILLIS, 2004).

A partir dessas características (imersão, interação e envolvimento), o ambiente virtual, implementado utilizando hardware e software, é apresentado ao usuário de forma que ele tenha a impressão de que está dentro de um ambiente real. Para criar essa “realidade virtual”, o usuário, na maioria das vezes, precisa utilizar diversos dispositivos, entre eles: luvas especiais, dispositivos de rastreamento, capacetes, fones de ouvido, telas de projeção 3D e ambientes *Cave Automatic Virtual Environment* (CAVE), Caverna ou Sala de Imersão. Estes dispositivos criam dois canais de comunicação entre o usuário e a aplicação, permitindo que o usuário emita eventos provocando certas ações e movimentos do corpo (em geral, braços, pernas, cabeça e olhos) e, ao mesmo tempo, receba sinais que o sistema computacional envia como resposta a alterações que se dá no ambiente virtual propiciando a sensação de imersão no mundo com o qual está interagindo.

Apesar de apresentar melhor qualidade de imersão, o acesso a esses dispositivos ainda é pequeno e a relação custo/benefício a esse tipo de realidade virtual não possibilita o acesso de um número maior de usuários. O hardware projetado para as aplicações de RV não é planejado para ser de uso geral e normalmente tem um alto custo levando-o a ficar confinado a laboratórios de pesquisa especializada com alto nível de investimento na área de realidade virtual (FERNANDÉZ, 2005).

Este trabalho propõe o estudo e aplicação de técnicas de RV com foco na imersão em um protótipo para visualização e exploração de um ambiente virtual na Web com o uso de dispositivos de interação acessíveis.

1.1 OBJETIVOS GERAIS

Aplicar e avaliar técnicas de realidade virtual com foco na imersão para visualização e exploração de ambientes virtuais na Web em um estudo de caso.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos do trabalho são:

- a) caracterizar o processo de imersão em ambientes virtuais;
- b) avaliar técnicas de realidade virtual com foco na imersão;
- c) realizar um estudo de caso de realidade virtual baseado na imersão em um ambiente virtual Web;
- d) modelar um ambiente virtual Web;
- e) desenvolver um protótipo para visualização e exploração imersiva em um ambiente virtual Web com uso de técnicas de realidade virtual.

1.3 JUSTIFICATIVA

O uso de RV tem tomado um papel importante na sociedade moderna. Considerada um ícone do avanço tecnológico das últimas décadas, ela tem ganhado cada vez mais aplicabilidade (CADOZ, 1997). De jogos eletrônicos voltados para o mercado do entretenimento até simulações complexas e ultra realísticas usadas para o treinamento de aspirantes a pilotos da força aérea, seu uso tem sido amplo e ostensivo.

Um dos maiores benefícios oriundos da utilização de ambientes modelados virtualmente é a possibilidade de se criar, ou até recriar, ambientes que não podem ser explorados tão facilmente por serem inóspitos, perigosos ou de difícil acesso. Uma caverna, por exemplo, poderia ser explorada em segurança por qualquer pessoa com o uso de tecnologias de RV.

A aplicação de RV na Web tem como um de seus desafios a representação e exploração de ambientes tridimensionais, já que até pouco tempo, apenas tecnologias proprietárias estavam disponíveis, como o Flash da Adobe. A utilização de ambientes de RV tridimensionais na Web era restrita e não tinha suporte de um padrão aberto e aprovado por um comitê mundial. Isso mudou quando o *World Wide Web Consortium* (W3C) padronizou a *Virtual Reality Modeling Language* (VRML), uma linguagem de marcação de texto capaz de definir entidades constituintes de um ambiente virtual.

Outro padrão com a mesma finalidade da VRML é o X3D. Desenvolvido pelo Web3D Consortium, um consórcio sem fins lucrativos formado com o objetivo de criar um padrão robusto para a definição e troca de ambientes 3D, o X3D é considerado o sucessor da VRML.

Por fim temos o O3D, um padrão também aberto que se encontra em desenvolvimento pelo *Google*, e oferece as mesmas características dos padrões anteriores, porém permite uma abordagem mais clássica ao processo de elaboração do conteúdo, que é totalmente controlado por um *script*.

A utilização de uma das tecnologias mencionadas permite que por meio de um navegador e um *plug-in* adequado ou um software de visualização seja possível a exploração de ambientes de realidade virtual completos, com a disponibilidade de recursos de áudio e vídeo imersivos.

Hoje, por meio dos esforços de órgãos e empresas como o *World Wide Web Consortium* (W3C), o *Web3D Consortium* e o *Google*, têm-se à disposição várias tecnologias para a utilização de recursos 3D na própria tela do navegador, e tem-se a garantia de que o conteúdo apresentado será compatível com qualquer navegador que suporte o padrão utilizado.

O desafio, no entanto, é a criação de ambientes que ofereçam características de imersão fazendo uso de dispositivos acessíveis.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Esta pesquisa é composta por sete capítulos, sendo o Capítulo 1 responsável por uma breve introdução ao tema da pesquisa, bem como a definição dos objetivos a serem alcançados e a justificativa para a sua realização.

No Capítulo 2 são vistos os conceitos de realidade virtual, seu contexto e evolução. Também são abordadas algumas das tecnologias que permitem sua utilização na Web e alguns exemplos de aplicações reais são demonstradas.

A imersão, objeto de estudo desta pesquisa, é tratada no Capítulo 3, que explora seus conceitos e características, bem como exemplos de aplicações imersivas e das variadas tecnologias que podem ser utilizadas para alcançá-la.

A modelagem e ambientes virtuais é abordada no Capítulo 4, que explora algumas técnicas de modelagem de objetos 3D, descreve formas de representação de ambientes por meio destas técnicas e lista ferramentas utilizadas para a concepção de tais ambientes.

O Capítulo 5 descreve trabalhos de pesquisa que abordam os mesmos objetos de estudo da presente pesquisa, realizados por acadêmicos de outras instituições na obtenção de variados graus de formação.

Os resultados da presente pesquisa encontram-se relatados no Capítulo 6, que descreve detalhadamente todo o processo de contextualização, modelagem e implementação do protótipo de visualização e exploração de ambientes virtuais desenvolvido.

No Capítulo 7 encontram-se as conclusões obtidas a partir da fundamentação teórica e dos resultados obtidos na presente pesquisa, bem como sugestões de trabalhos futuros.

2. REALIDADE VIRTUAL

Quando o termo Realidade Virtual (RV) começou a ser utilizado, produziu grande expectativa. Esperava-se que com esta tecnologia, seria possível criar mundos imaginários indistinguíveis do mundo real (GUTIÉRREZ; VEXO; THALMANN, 2008, tradução nossa).

Desde então, ela vem sendo aplicada em diferentes áreas de conhecimento, como uma forma inovadora e diferente de interação entre o homem e o computador (TORI; KIRNER; SISCOOTTO, 2006).

2.1 CONCEITOS

Desde o advento do computador na década de 40, a forma como se interage com ele tem evoluído constantemente. Nos primeiros computadores eletromecânicos, a interação era feita por meio da manipulação direta da fiação em um painel. Era um processo lento e demorado, que poderia levar dias até ficar pronto.

Mais tarde, à medida que a tecnologia evoluiu, passou-se a utilizar cartões perfurados para instruir o computador na tarefa a ser realizada e para fornecer os dados a serem utilizados. Não havia nenhuma forma de interação durante a execução do programa.

Esse aspecto começou a mudar com o surgimento dos primeiros sistemas operacionais. Através do teclado, o usuário interagiu com o sistema, podendo executar outros programas a partir dele. Rapidamente o teclado se tornou o principal dispositivo de interação com o computador.

Nas décadas de 80 e 90, com a popularização do computador pessoal e a criação de sistemas operacionais com interfaces gráficas, como o *Mac OS* e o *Windows*, o mouse junta-se ao teclado para juntos tornarem-se o modelo padrão de interação com o computador.

Com ele, o usuário era capaz de navegar rapidamente entre os elementos gráficos da interface, clicar em botões, arrastar objetos gráficos, dentre outras ações com simplicidade.

Finalmente, no início do século XXI, as telas sensíveis ao toque (*touchscreens*) evoluíram o conceito do mouse e do teclado fazendo com que o usuário interaja diretamente com o que está sendo mostrado a ele, através do toque, tornando a interação muito mais natural.

Essa busca por melhores formas de se interagir com o computador foi um dos fatores que motivaram as pesquisas em torno da RV.

O termo RV foi criado por Jaron Lanier nos anos 80 para diferenciar simulações por computador tradicionais dos ambientes digitais que ele tentava criar. Por se tratar de um termo abrangente, acadêmicos e pesquisadores procuram definir RV de acordo com suas próprias experiências.

RV pode então ser definida como uma interface avançada com o usuário para a utilização de aplicações executadas no computador, permitindo a visualização, movimentação e interação do usuário, em tempo real, em ambientes tridimensionais gerados por computador (KIRNER, 2007).

Desta forma, a RV é uma tecnologia que permite que um usuário interaja com um ambiente simulado por computador, seja este ambiente uma simulação do mundo real ou um lugar imaginário (KRUEGER, 1991, tradução nossa).

Diferente da interação com mouse e teclado, na RV, o usuário interage como se fizesse parte do ambiente simulado, manipulando o que vê diretamente, como se fosse real.

2.2 CONTEXTO E EVOLUÇÃO

A tecnologia que deu origem aos sistemas de realidade virtual foi introduzida nos Estados Unidos com a construção e simuladores de voo após o fim da Segunda Guerra Mundial. A indústria do entretenimento também foi de fundamental importância no surgimento da RV com o simulador Sensorama, lançado em 1956. Nele, o usuário entrava em uma espécie de cabine onde filmes 3D eram projetados e combinados com som estéreo, vibrações, aromas e correntes de ar, proporcionando ao usuário uma viagem multissensorial, conforme Figura 1 (VINCE, 1995, tradução nossa).



Figura 1. Foto promocional de um protótipo do Sensorama.
Fonte: Adaptado de HUMAN (2010).

Ivan Sutherland descreveu, em 1965, como os computadores poderiam ser utilizados para exibir gráficos interativos. Mais tarde, apresentou o primeiro capacete de imersão permitindo que o usuário visualizasse um gráfico através de monitores posicionados diante dos olhos (SUTHERLAND, 1965, tradução nossa). Sua ideia de RV era, essencialmente, a de uma janela através da qual o usuário pudesse visualizar um mundo,

supostamente real, gerado por técnicas computacionais de simulação de som, movimento e outros que o fizessem parecê-lo tão real quanto o mundo real.

A partir de então, surgiu interesse no assunto e as pesquisas se intensificaram, até que em 1982 os simuladores de voo da força aérea americana já utilizavam capacetes de imersão com áudio e vídeo integrados, que permitiam movimentos com seis graus de liberdade (PIMENTEL; TEIXEIRA, 1995, tradução nossa).

A primeira luva de dados, dispositivo capaz de capturar os movimentos da mão e inclinação dos dedos do usuário e transmiti-los ao computador, surgiu comercialmente em 1985. Em 1986 a NASA possuía um ambiente virtual que permitia aos usuários ordenar comandos de voz, escutar fala sintetizada e som 3D, além de manipular objetos diretamente com os movimentos das mãos utilizando luva de dados (MACHADO, 1995).

Diversas pesquisas posteriormente levaram à conscientização de que produtos de realidade virtual podiam ser comercializáveis, o que levou a criação de empresas de equipamentos e sistemas para RV e deu início a diversos programas de pesquisa nessa área no mundo inteiro. Em 1989, a empresa Autodesk Inc. apresentou o primeiro sistema de RV baseado em um computador pessoal (PIMENTEL; TEIXEIRA, 1995, tradução nossa).

2.3 CARACTERÍSTICAS

A experiência de RV é caracterizada por três idéias básicas: imersão, interação e envolvimento (MORIE, 1994, tradução nossa).

Witmer e Singer (1998, tradução nossa) definem a imersão como um estado psicológico caracterizado pela sensação de se estar envolvido por, incluso em, ou interagindo com um ambiente que oferece várias experiências que estimulam os sentidos de uma forma natural e coerente. Slater e Wilbur (1997, tradução nossa) vão além, definindo imersão como

a habilidade de um sistema de RV de gerar um ambiente envolvente, capaz de desconectar os sentidos do usuário e sua percepção do mundo real.

Sistemas imersivos costumam fazer uso de capacetes de imersão ou salas especiais com imagens projetadas nas paredes, piso e teto (CRUZ-NEIRA, 1992). O que difere a RV de interfaces convencionais é a exploração dos sentidos além da visão. Aplicações de RV costumam fazer uso preponderante do sentido da visão, mas os demais sentidos, como tato e audição, também podem ser utilizados para tornar a experiência do usuário mais rica e interativa (KIRNER, 2007), e são muito importantes para contribuir com o sentimento de imersão. Begault (1994, tradução nossa) e Gradecki (1994, tradução nossa) destacam a utilização do som, bem como o posicionamento do usuário e detecção dos movimentos da cabeça para a sensação de imersão.

O principal objetivo da RV é proporcionar ao usuário a ilusão de estar em um ambiente com interatividade suficiente para que ele realize tarefas específicas de forma eficiente e confortável (GUTIÉRREZ; VEXO; THALMANN, 2008, tradução nossa).

Desta forma, a interação pode ser caracterizada como a capacidade do computador detectar as ações do usuário e modificar o ambiente em tempo real, reagindo às modificações promovidas pelo usuário. Esta capacidade reativa torna o ambiente bastante realista, uma vez que essa característica prende a atenção do usuário, como num jogo de videogame (CARDOSO, 2003).

O envolvimento é caracterizado pelo grau de motivação do usuário em realizar determinada atividade dentro do AV. O envolvimento pode ser descrito de duas formas: passivo, quando se lê um livro ou se assiste televisão; e ativo, quando se participa de uma experiência dinâmica, como um jogo de videogame. A RV é capaz de fazer uso de ambos os tipos, já que permite a exploração de ambientes virtuais e propicia a interação do usuário com os elementos dinâmicos do AV (CARDOSO, 2003).

2.4 TECNOLOGIAS

Existem inúmeras tecnologias que permitem a criação e a execução de projetos de RV, sendo algumas delas voltadas especificamente para a Web. Neste capítulo, serão discutidas as tecnologias que podem ser utilizadas para a concepção de mundos virtuais e sua visualização na Web. As tecnologias voltadas para a imersão em RV serão discutidas na seção 3.4 deste trabalho.

2.4.1 VRML

Virtual Reality Modeling Language (VRML) é uma tecnologia para a concepção de mundos virtuais que tem sido aplicada em diversos projetos e tem um papel importante no desenvolvimento de ambientes tridimensionais interativos para uso na Web. Nasceu da colaboração de diversos pesquisadores e importantes empresas e entidades interessadas no desenvolvimento da RV na Web (CARDOSO, 2003).

O projeto que serviu como base para a criação da VRML data de 1989, idealizado por Rikk Carey e Paul Strass na *Silicon Graphics Inc.* A VRML teve sua primeira especificação formal publicada em 1994, por Gavin Bell. Após várias correções e novas discussões, a segunda especificação do VRML é criada, e aprovada em 1996. Esta especificação aprimorava muito as características da VRML e permitia a definição de comportamentos para os elementos 3D, visando mais interação e animação. A versão final do texto foi publicada em 1997, contendo várias modificações e correções. Esta é a versão utilizada até hoje, conhecida como VRML97 (CARDOSO, 2003).

Dentre suas principais características, estão o desenvolvimento de mundos virtuais mais realísticos, prototipação, uso de sensores para a interação direta com o usuário,

interpoladores e a criação de animações (CARDOSO, 2003; KO, CHENG, 2009, tradução nossa).

Os mundos 3D simulados em VRML são descrições textuais armazenadas em um arquivo de texto simples. Assim, por meio de qualquer editor de texto, pode-se conceber um desses arquivos, salvá-lo e visualizá-lo navegador. No arquivo estão definidas as formas geométricas que compõem o mundo virtual que se deseja criar, bem como suas cores, texturas, associações, animações, transparência, dentre outras características (CARDOSO, 2003; KO, CHENG, 2009, tradução nossa).

O aspecto mais característico da VRML é a forma como os cenários tridimensionais são organizados dentro do arquivo de texto. Sua construção se baseia na elaboração de um grafo contendo os nós que, associados - em grupos ou isoladamente - formam toda a simulação. Estes nós são bastante diversos, e podem conter primitivas geométricas, propriedades de aparência, sons, dentre outros recursos (CARDOSO, 2003).

Outro ponto forte é a reutilização de código através da prototipação, onde um arquivo VRML define certos nós que podem ser referenciados em outros arquivos.

Também é possível animar os elementos do mundo virtual por meio de *scripts*, escritos em *Java* ou *JavaScript*. Este recurso traz bastante dinamismo à simulação, uma vez que por meio dele a manipulação dos elementos é feita com mais simplicidade (CARDOSO, 2003; KO; CHENG, 2009, tradução nossa).

Muitos softwares populares de modelagem 3D, como o *3ds Max*, *Maya*, e *Blender* suportam a exportação de objetos e cenas para o formato VRML, tornando ainda mais fácil sua concepção, uma vez que não é preciso fazer tudo por meio de um editor de textos (KO; CHENG, 2009, tradução nossa).

2.4.2 X3D

X3D é um padrão aberto para a definição e distribuição de vários tipos de conteúdo 3D interativo baseado na Web, que pode ser integrado com várias formas de mídia e utilizado em uma grande variedade de equipamentos. É uma tecnologia aprovada pela *International Standards Organization* (ISO), e construída a partir das especificações da VRML, mais especificamente a VRML97 (GEROIMENKO; CHEN, 2003, tradução nossa).

O X3D surgiu a partir de uma revisão da especificação ISO VRML97, e incorpora os avanços dos recursos disponíveis em dispositivos gráficos comerciais modernos e também incorpora melhorias na sua arquitetura (WEB3D, 2010, tradução nossa). A especificação está em contínuo desenvolvimento pelo *X3D Specification Working Group*, e atualmente fornece os seguintes recursos (WEB3D, 2010, tradução nossa):

- a) gráficos 3D – geometria poligonal, geometria paramétrica, transformações hierárquicas, iluminação e materiais;
- b) gráficos 2D – texto, vetores 2D e formas planares exibidas dentro da hierarquia de transformações 3D;
- c) animação – temporizadores e interpoladores para conduzir animações contínuas, animação humanoide e *morphing*;
- d) áudio e vídeo espacial – fontes audiovisuais mapeadas diretamente na geometria de uma cena;
- e) interação com o usuário – seleção e manipulação de objetos baseada no uso de mouse, entrada de teclado;
- f) navegação – câmeras, movimentação do usuário dentro da mundo 3D, colisão, detecção de proximidade e visibilidade;

- g) *networking* – habilidade de criar cenas X3D a partir de recursos localizados em uma rede, ligação por meio de hyperlinks de objetos à outras cenas ou recursos localizados na *Web*;
- h) objetos definidos pelo usuário – habilidade de estender funcionalidades básicas através da criação de tipos de dados do usuário (chamados de PROTOs);
- i) *scripting* – habilidade de modificar dinamicamente a cena por meio de programação e linguagens de *scripting*.

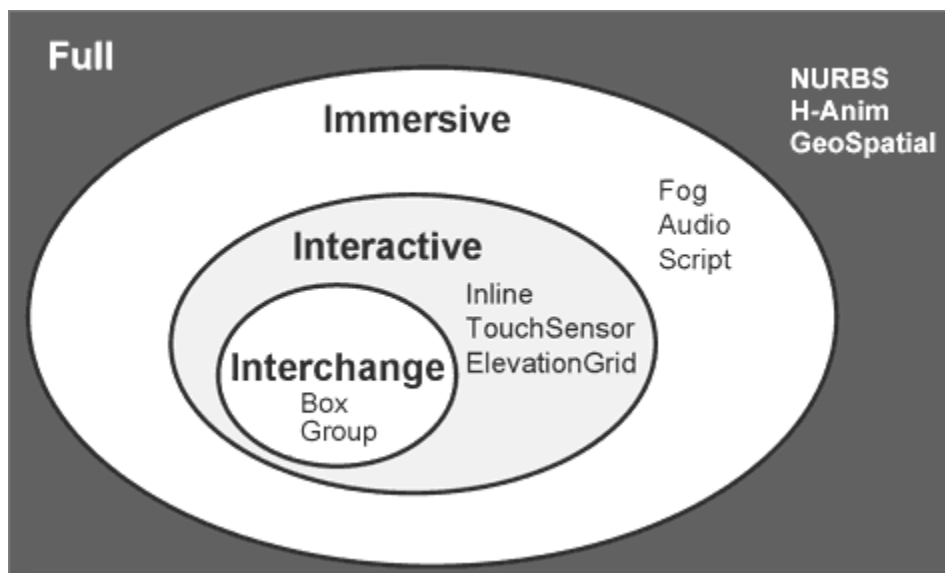


Figura 2. Perfis básicos do X3D.
Fonte: Adaptado de WEB3D (2010).

A arquitetura do X3D é baseada em componentes, sendo que cada componente é um conjunto de funcionalidades semelhantes, que consistem de vários objetos X3D e/ou serviços. Essa arquitetura modular permite que as funcionalidades do X3D sejam distribuídas em vários níveis, e possam ser acessadas de acordo com os perfis (*profiles*) disponíveis, de acordo com a Figura 2. Os perfis do X3D são organizados em uma hierarquia de forma que a cada nível têm-se mais funcionalidades que nos níveis anteriores. Estes são os perfis básicos do X3D (GEROIMENKO; CHEN, 2003, tradução nossa; WEB3D, 2010, tradução nossa):

- a) *interchange* (intercâmbio) – é o perfil mais básico, e o ideal para a comunicação entre diferentes aplicações. Suporta definição de geometria, texturização, iluminação básica e animação. Por não contar com um modelo de renderização específico, é fácil usá-lo e integrá-lo em outras aplicações;
- b) *interactive* (interativo) – possibilita interação básica com um ambiente 3D devido a adição de vários componentes que permitem a navegação e a interação com o usuário, melhores contadores de tempo, e elementos de iluminação aprimorados;
- c) *immersive* (imersivo) – incorpora gráficos 3D completos com interação, incluindo suporte a áudio, detecção de colisão, neblina e *scripting*;
- d) *full* (completo) – disponibiliza todos os componentes existentes, incluindo *NURBS*, *H-Anim* e *GeoSpatial*.

Um arquivo X3D define um grafo de cena (*scene graph*), que é um grafo acíclico orientado que descreve o mundo 3D criado. Cada nó no grafo é uma instância de um dos nós disponíveis na especificação do padrão. Um nó *Shape*, por exemplo, define uma forma tridimensional; um nó *Transform* define a posição, a orientação e o tamanho de seus nós filhos; e um nó *DirectionalLight* define uma fonte de luz no mundo virtual. Estes nós são bastante similares com os encontrados no grafo de cena da VRML97, embora novos nós tenham sido adicionados para incorporar alguns avanços alcançados em termos de hardware e software 3D (GEROIMENKO; CHEN, 2003, tradução nossa).

2.5 RV EM AMBIENTES WEB

A rápida evolução da Rede Mundial de Computadores (*World Wide Web*) fez com que surgisse uma importante categoria de aplicações de realidade virtual, a chamada realidade

virtual baseada na Web. Essas aplicações são geralmente desenvolvidas usando linguagens e tecnologias como a VRML, X3D, O3D, Java 3D, dentre outras.

Existem aplicações baseadas na Web que, embora não tenham sido criadas para a RV, desempenham um bom papel em utilizar características da RV para proporcionar experiências ricas aos seus usuários.

2.5.1 Second Life

O *Second Life* é um ambiente virtual e tridimensional que simula em alguns aspectos a vida real e social do ser humano. Foi criado em 1999 e é mantido pela empresa *Linden Lab*. Dependendo do tipo de uso, pode ser encarado como um jogo, um mero simulador, um comércio virtual ou uma rede social.

Um dos aspectos mais interessantes do *Second Life* é que o conteúdo do ambiente virtual é todo gerado pelos usuários. Isso contribui para a sensação de envolvimento, já que o usuário interage com outros usuários em ambientes criados por eles mesmos ou outros usuários. A interação com o ambiente é bastante ampla, visto que virtualmente todos os objetos do AV podem ser “tocados” e, na maioria das vezes, pode-se interagir com eles. O usuário pode se comunicar com os demais residentes por *chat* de texto ou voz, e juntos podem explorar os milhares de cenários disponíveis.

No ano de realização desta pesquisa, o *Second Life* já perdeu um pouco da popularidade que possuía quando era notícia em revistas e jornais e atraía usuários e empresas de todos os lugares. O Brasil era representado oficialmente pela *Kaizen Games*, que mantinha o conjunto oficial de ilhas do território brasileiro conhecidas como *Mainland.Brasil*, que teve seus servidores desativados em junho de 2009, pela pouca popularidade que o metaverso alcançou no país (INFO, 2009).

2.5.2 MMOG

Massively Multiplayer Online Games (MMOG) são jogos online capazes de suportar um grande número de jogadores simultaneamente. Dentre os vários tipos disponíveis, podemos citar os da modalidade *Role-Playing Game* (RPG) – jogo de interpretação de papéis. Nesse tipo de jogo, o usuário interage com os demais jogadores para juntos progredirem no enredo.

O conceito de imersão é um dos mais explorados nesse tipo de jogo eletrônico, pois é isso que faz o usuário sentir-se envolvido e motivado a seguir em frente. Gráficos realísticos e detalhados, aliados a efeitos sonoros e música bem ambientada tornam a experiência semelhante à uma simulação de RV. E em muitos jogos a interação é explorada tão a fundo, a ponto de se poder interagir com todos os elementos do AV.

3 IMERSÃO EM AMBIENTES VIRTUAIS

A sensação de imersão, seja ela de natureza física ou psicológica, faz com que o usuário acredite ter deixado o mundo real, sentindo-se presente no ambiente virtual (SADOWSKI; STANNEY, 2002).

Imersão está relacionada com a configuração física da interface da aplicação de RV. Sistemas de RV podem ser classificados das seguintes formas (HILLIS, 2004):

- a) totalmente imersivos – fazem uso do capacete de imersão para isolar o usuário do mundo real;
- b) semi-imersivos – utilizam salas com enormes telas de projeção envolvendo o usuário;
- c) não-imersivos – utilizam monitores comuns utilizados em computadores pessoais.

A classificação é baseada no nível de percepção que o usuário tem do ambiente virtual durante a simulação.

Presença é um conceito bastante subjetivo, que está associado com a condição psicológica do usuário. É um estado de consciência, a sensação (psicológica) de estar dentro do ambiente virtual (SLATER; WILBUR, 1997, tradução nossa).

A sensação de presença se dá quando as simulações que estimulam os diversos sentidos do corpo humano são processadas pelo cérebro e vistas como um ambiente coerente onde pode-se interagir e realizar algumas atividades. Presença é obtida quando o usuário tem a consciência de fazer parte do ambiente virtual, e agir como se fosse uma situação real (GUTIÉRREZ; VEXO; THALMANN, 2008, tradução nossa).

Embora a realidade virtual com o uso de capacetes tenha evoluído e seja considerada típica, a realidade virtual com monitor apresenta ainda assim alguns pontos

positivos como: utilizar plenamente todas as vantagens da evolução da indústria de computadores; evitar as limitações técnicas e problemas decorrentes do uso de capacete; e facilidade de uso.

3.1 CARACTERÍSTICAS

Witmer e Singer (1998, tradução nossa) sugerem que os fatores que influenciam no sentimento de imersão incluem: o isolamento do ambiente físico; o sentimento de fazer parte do ambiente; a sensação de estar interagindo naturalmente com seus elementos; e a habilidade de se movimentar dentro dele. Eles ainda acrescentam que ambientes virtuais que oferecem uma maior sensação de imersão também produzem uma maior sensação de presença.

Uma importante característica de uma simulação de RV imersiva é o ponto de vista do qual se observa e se interage com o AV. O uso da câmera em primeira pessoa faz com que o usuário experiencie a simulação de uma forma natural, podendo navegar livremente pelo AV e interagir com suas características.

Os ambientes virtuais são apresentados em escala real, e tudo o que dele faz parte é representado de forma proporcional ao que conhecemos no mundo real.

Existem dois fatores principais que descrevem a experiência de RV do ponto de vista físico e psicológico: imersão e presença.

3.2 EXEMPLOS

Esta seção apresenta alguns projetos que fazem uso prático da imersão e aplicam seus conceitos de forma a propiciar experiências únicas ao usuário, utilizando de algumas tecnologias discutidas na seção 3.4 deste trabalho.

3.2.1 Cave Automatic Virtual Environment

Uma *Cave Automatic Virtual Environment* (CAVE) é uma pequena sala, geralmente em forma de cubo, onde pelo menos três paredes agem como monitores gigantes. O monitor dá ao usuário um amplo campo de visão, algo que a maioria dos monitores presos à cabeça não faz. Os usuários também podem circular em um sistema CAVE sem serem amarrados a um computador, apesar de ainda precisarem usar um par de óculos de estereoscopia, para verem as imagens projetadas com profundidade (ELECTRONIC, 2010).

3.3 TECNOLOGIAS

Existem diversas tecnologias que possibilitam a sensação de imersão. Elas funcionam estimulando um determinado sentido de acordo com o que acontece no AV. Podemos dividi-las em dispositivos que promovem a saída de dados para o usuário, e dispositivos que capturam dados do usuário e enviam ao computador.

3.3.1 Visão e Interfaces de Visualização

Interfaces de RV para visualização utilizam tecnologias tais como o CRT e o LCD para permitir que o usuário explore um AV visualmente. Levando-se em conta o número de usuário que podem participar da experiência de RV, podemos classificar estas interfaces em individuais e coletivas. Também é possível classificá-las quanto ao nível de imersão que proporcionam, variando de sistemas totalmente imersivos que isolam completamente o usuário do mundo real (*head mounted displays* - capacete de imersão), até dispositivos portáteis que possuem uma área de visualização pequena e são usados como ferramentas

complementares em tarefas do mundo real (GUTIÉRREZ; VEXO; THALMAN, 2008, tradução nossa).

3.3.1.1 Capacete de Imersão

O capacete de imersão (*Head Mounted Display*) é um dispositivo de interface para RV que isola o usuário do mundo real. Ele é constituído de uma ou duas telas e um conjunto de lentes especiais que ficam posicionados em frente aos olhos do usuário, em uma estrutura que se apoia na cabeça, conforme Figura 3. Com a utilização de duas telas, pode-se exibir imagens estereoscópicas, que apresentam a cada olho um ponto de vista diferente do AV, contribuindo para o efeito imersivo (GUTIÉRREZ; VEXO; THALMAN, 2008, tradução nossa).



Figura 3. Diferentes tipos de capacetes de imersão.

Fonte: Adaptado de GUTIÉRREZ, M.; VEXO, F.; THALMAN, D. (2008, p. 132)

A função das lentes no capacete de imersão é de auxiliar o olho humano a focalizar as imagens posicionadas a uma distância muito pequena dos olhos, contribuindo também para a ampliação do campo de visão do vídeo (GRADECKI, 1994, tradução nossa).

Para oferecerem todo o seu potencial, os capacetes de imersão são utilizados com sensores que possibilitam o rastreamento dos movimentos da cabeça, detectando mudanças de ângulo, orientação e até de posição. Se o computador que estiver controlando a simulação de RV tiver acesso a esses dados, ele pode exibir as imagens correspondentes ao ângulo de visão do usuário em um momento particular. Isso permite que usuário olhe para qualquer lado do AV apenas movimentando sua cabeça, sem precisar de outro dispositivo para mudar o ponto de vista. Dispositivos de rastreamento podem ser com fio ou sem fio (wireless) e usar campos magnéticos ou acelerômetros para obter a orientação (3DOF – 3 graus de liberdade) e até mesmo a posição (6DOF – 6 graus de liberdade) no espaço. Muitos capacetes de imersão possuem também alto-falantes embutidos, para a reprodução de áudio diretamente nos ouvidos do usuário (GUTIÉRREZ; VEXO; THALMAN, 2008, tradução nossa).

3.3.2 Audição e Interfaces Auditivas

Sons fazem parte do dia-a-dia de todos, e são uma fonte rica de informação sobre o ambiente onde se está. Quando ouve-se sons vindos de lugares diferentes, e percebe-se esta diferença conscientemente, trata-se de som espacial, e este é um dos principais aspectos de ambientes virtuais realísticos (GUTIÉRREZ; VEXO; THALMAN, 2008, tradução nossa). Estudos têm demonstrado que a combinação de som e gráficos aumentam a sensação de presença (LARSSON; VÄSTFJÄLL; KLEINER, 2002, tradução nossa).

O som pode assumir diferentes papéis em um sistema de RV (GUTIÉRREZ; VEXO; THALMAN, 2008, tradução nossa):

- a) informação complementar - sons permitem que o usuário tenha acesso a informações mais ricas sobre o ambiente simulado. Pequenos ecos e reverberações no ambiente ao redor dão ao cérebro dicas sobre a direção e a

distância de objetos bem como informações a respeito do tamanho do ambiente. Um escritório, por exemplo, tem menos ecos que uma catedral. O uso de sons contribui para aumentar a consciência que o usuário tem do ambiente simulado. O som pode transmitir propriedades simuladas de entidades dentro do AV, como atributos de uma superfície, peso, e força de impacto;

- b) resposta alternativa - resposta por meio de sons pode enriquecer a interface com o usuário (sons podem indicar que o sistema de RV recebeu os comandos do usuário ou confirmar a seleção de um objeto). Também pode ajudar pessoas com deficiência visual;
- c) forma alternativa de interação - na forma de voz, o som pode ser um canal de comunicação bastante eficiente. Embora ainda não seja completamente confiável, o reconhecimento de fala tem sido reconhecido como um bom método de interação homem-máquina na RV. A síntese de voz também pode ser utilizada como um meio alternativo de dar informações ao usuário sobre o AV.

Aplicações de RV precisam atender à alguns requisitos quanto a reprodução de áudio (NAEF; STAADT; GROSS, 2002, tradução nossa):

- a) localização 3D - posicionamento preciso da fonte de áudio virtual no mundo 3D. A posição percebida pelo usuário deve condizer com a localização espacial do objeto associado no AV;
- b) simulação de acústica - a simulação da acústica do ambiente é essencial para a percepção de propriedades espaciais de um AV, como o seu tamanho e as propriedades reflexivas de seus elementos;
- c) velocidade e eficiência - é preciso um balanço entre a simulação precisa das propriedades físicas do som espacial e a geração eficiente do áudio em tempo

real. Mais do que isso, AV realísticos necessitam de um certo número de fontes de áudio virtual simultâneas.

Os fenômenos acústicos mais importantes podem ser simulados em software usando *engines* de som. Modelos simplificados de propriedades físicas do som espacial podem produzir resultados convincentes (GUTIÉRREZ; VEXO; THALMAN, 2008, tradução nossa).

3.3.2.1 Reprodução eletroacústica

Som espacial pode ser gerado por meio de dispositivos eletroacústicos, como fones de ouvido ou caixas de som. Fones de ouvido permitem um controle mais eficaz das características espaciais porque os sinais que chegam a cada ouvido podem ser controlados independentemente. Outra vantagem é a ausência de sons não desejados, como ecos ou reverberações oriundas do ambiente real (GUTIÉRREZ; VEXO; THALMAN, 2008, tradução nossa).

Fones de ouvido podem ser mais caros que caixas de som e não serem adequados para uso em aplicações onde o usuário não quer ter que utilizar qualquer tipo de dispositivo preso a sua cabeça, como em AVs colaborativos CAVE (GUTIÉRREZ; VEXO; THALMAN, 2008, tradução nossa).

O uso de caixas de som torna mais difícil o controle da informação espacial do som que chega aos ouvidos do usuário. Entretanto, esses sistemas são relativamente simples e baratos de se implementar e não interferem com o usuário (GUTIÉRREZ; VEXO; THALMAN, 2008, tradução nossa).

3.3.3 Toque e Interfaces Hápticas

Aplicações de RV costumam concentrar-se em gerar áudio e vídeo realísticos para imergir o usuário, preocupando-se pouco com a exploração de sentidos como o toque e a geração de *force-feedback* (retorno de força). Mundos virtuais com visual e efeitos sonoros básicos são fáceis de se desenvolver, pois requerem uma quantidade menor de equipamentos especiais (GUTIÉRREZ; VEXO; THALMAN, 2008, tradução nossa). Insko (2001, tradução nossa) demonstra que a habilidade de "tocar" objetos virtuais aumenta a sensação de presença.

O toque é um dos mais importantes sentidos do corpo humano, e pode ser dividido em cutâneo e cinestético. O sistema cutâneo é composto de mecanorreceptores localizados na pele, que constituem o sentido do tato, responsável pela percepção dos estímulos na superfície do corpo. O sistema cinestético é composto de receptores localizados nos músculos, tendões e articulações, e permitem que uma pessoa tenha consciência da posição e movimentação de seus membros e da tensão dos seus músculos. A combinação destes dos sistemas cutâneo e cinestético formam o sistema sensitivo háptico (GUTIÉRREZ; VEXO; THALMAN, 2008, tradução nossa).

Com base nisso, os dispositivos hápticos incorporam sensores e atuadores para monitorar as ações do usuário e fornecer sensação tátil e/ou de força. A sensação tátil permite que o usuário sinta algumas características do objeto, como textura ou rugosidade, enquanto que a sensação de força dá a ele o senso de posição e movimentação aliado a resposta da interação com um objeto virtual (BURDEA, COIFFET, 2003, tradução nossa).

3.3.3.1 Luva de Dados

As mãos têm um papel fundamental quando se trata de toque. De acordo com a seção anterior, toda a extensão do corpo humano é capaz de receber e processar estímulos hápticos, mas as mãos são o principal meio para manipular e interagir com o ambiente externo.



Figura 4. Luvas de dados para toque e retorno de força.
Fonte: Adaptado de GUTIÉRREZ, M.; VEXO, F.; THALMAN, D. (2008, p. 149)

Um dos primeiros dispositivos de interação criados para fazer uso do movimento das mãos foi a luva de dados, conforme Figura 4. Vários sensores são utilizados para capturar informações físicas, como a flexão dos dedos. Geralmente um rastreador de movimentos é acoplado para capturar a posição e a orientação da luva de dados, e esses dados são então interpretados pelo software que acompanha a luva.

3.3.4 Olfato e paladar

O nervo olfativo é o único órgão que responde a estímulos que conecta o mundo externo diretamente ao cérebro, mais especificamente ao sistema límbico, que é composto de estruturas envolvidas nas emoções, na motivação e na associação emocional com a memória (GUTIÉRREZ; VEXO; THALMAN, 2008, tradução nossa).

Sabe-se que o olfato influencia o modo como uma pessoa age e se sente, e pode também estimular a memorização de conceitos e experiências. Odores têm um papel

fundamental na busca de informações contextuais relacionadas a uma memória particular. Estudos encontraram fortes relações entre o olfato e a atenção, o tempo de reação, o humor, e o estado emocional (MICHAEL et al, 2003, tradução nossa). Um dos primeiros sistemas de RVI, o Sensorama, estimulava o olfato. Este estímulo é capaz de aumentar a sensação de presença pela lembrança de experiências anteriores, que podem modificar o estado emocional do usuário.

O sentido do paladar é o resultado de interações complexas entre múltiplos mecanismos sensoriais: quando coloca-se comida na boca, receptores de paladar são estimulados. Simultaneamente, diferentes tipos de fibras sensoriais que monitoram diversos atributos de um alimento, como textura, temperatura, e aroma são ativadas. O paladar funciona como um dos primeiros mecanismos que controlam a ingestão voluntária de substâncias. O ser humano é capaz de diferenciar cinco tipos básicos de sabor: doce, ácido, amargo, salgado e umami, um sabor picante relacionado ao aminoácido glutamato. Cada pessoa tem um nível de sensibilidade diferente à diversas substâncias diferentes, e essa variação é conhecida por ser genética em origem. Outros fatores, como a idade, o gênero e a exposição a diferentes dietas e alimentos também afetam o paladar.

O uso do paladar como forma de interação em mundos virtuais ainda é um assunto que está sendo estudado. Fica claro, no entanto, que este é um sentido muito importante na percepção do mundo real.

3.3.4.1 Interfaces de Olfato

De modo geral, uma interface olfativa consiste em uma coleção de fragrâncias, um sistema de dispersão, e um algoritmo de controle que determina as taxas de mistura, concentração e duração do estímulo (BAINBRIDGE, 2004, tradução nossa).

Existem dois tipos de interfaces olfativas: multiusuário e individual. Interfaces multiusuário são utilizadas em salas especiais, como nos sistemas CAVE. Um exemplo de interface olfativa multiusuário é o *Scents of Space* (HAQUE, 2010, tradução nossa), um sistema interativo de odores que permite o posicionamento de fragrâncias num ambiente 3D sem que eles se espalhem. O projeto demonstra como o olfato pode ser utilizado para distribuir fragrâncias espacialmente, e por meio de ventiladores, restringir sua dispersão, fazendo com que elas não ocupem todo o espaço da sala (GUTIÉRREZ; VEXO; THALMANN, 2008, tradução nossa).



Figura 5. Anel de fumaça contendo um odor
Fonte: Adaptado de YANAGIDA, Y. et al (2004).

Interfaces olfativas individuais incluem dispositivos como o desenvolvido por Yanagida et al (2004, tradução nossa). Esse sistema utilizava um canhão de ar que acompanhava o nariz do usuário para liberar odores, conforme Figura 5. Os odores eram disparados em forma de um anel de fumaça diretamente para o nariz do usuário, evitando que outras pessoas fossem expostas. Entretanto, o sistema tinha alguns problemas, sendo que o pior deles era que o usuário ficava exposto por muito pouco tempo ao odor, e quanto este era liberado enquanto o usuário expirava o ar pelo nariz, o odor não era nem percebido.

O *Scent Collar*, desenvolvido pelo *Institute of Creative Technologies* e pelo *AnrhoTronix* é outro exemplo de interface olfativa individual, e fica posicionada em volta do pescoço do usuário. Ela conta com quatro cartuchos de fragrâncias sendo controlado remotamente, sem fios (GUTIÉRREZ; VEXO; THALMAN, 2008, tradução nossa).

4 MODELAGEM DE AMBIENTES VIRTUAIS

A modelagem de ambientes virtuais é fundamental para qualquer sistema de RV, pois define as características dos objetos que o compõem. Dentre estas características, podemos citar: forma, aparência, comportamento, animações e restrições.

A modelagem de um ambiente virtual consiste na modelagem 3D dos objetos individuais que o compõem. Modelagem 3D é o processo de criação de uma representação matemática para um objeto ou superfície tridimensional através de softwares especializados.

Esta representação pode ser obtida de várias formas, dentre as quais podemos citar a modelagem poligonal, a modelagem por curvas NURBS, e a modelagem por primitivas. Elas permitem modelar objetos inanimados ou seres vivos, sejam eles reais ou imaginários, que podem ser utilizados em simulações de RV (RATNER, 2003).

4.1 MODELAGEM POLIGONAL

É a técnica mais comum utilizada em jogos eletrônicos, pois permite um controle preciso dos polígonos individuais que compõem o objeto modelado. Geralmente a modelagem inicia com uma primitiva básica, como um cubo, uma esfera ou um plano, e através de ferramentas como *bevel* (chanfro) e *extrude* (extrusão), dá-se forma e detalhes ao objeto (CLINTON, 2008).

Por meio dela, obtém-se uma representação aproximada da superfície e contornos do objeto modelado utilizando-se polígonos simples, como triângulos ou quadrados, que são compostos por pontos em um espaço 3D, chamados de vértices, conectados por segmentos de linha. Esta é a representação ideal para uso em simulações em tempo real, como as encontradas em jogos eletrônicos e simulações de RV, pois obtém-se modelos que são ao

mesmo tempo realísticos e computacionalmente simples, permitindo que um computador moderno renderize-os com muita eficácia e rapidez (RATNER, 2003).

Geralmente, o processo de modelagem poligonal é composto pelas etapas de criação de gabaritos, que são imagens bidimensionais utilizadas para guiar o artista 3D no processo de modelagem, visando manter a forma e proporção correta do modelo; a modelagem por meio da manipulação dos elementos da malha poligonal e do uso de ferramentas como *extrude* e *bevel*; e o mapeamento de textura, que consiste na atribuição de regiões de uma imagem 2D aos polígonos do objeto para dar mais realismo ao mesmo (CLINTON, 2008).

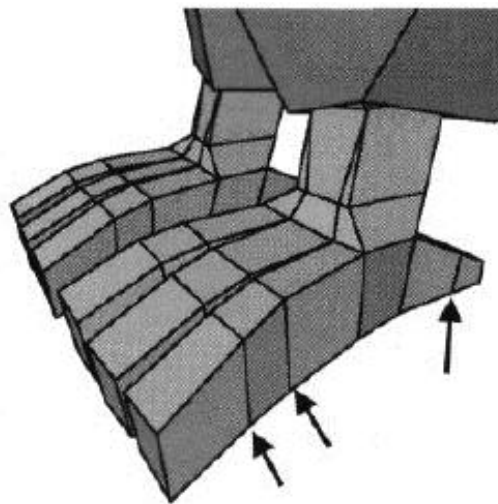


Figura 6. Malha poligonal representando os pés de uma galinha.
Fonte: Adaptado de RATNER (2003).

Pode-se também utilizar esta técnica em conjunto com a subdivisão de superfície, que é um método de obter uma representação mais suave e detalhada de um objeto pela subdivisão de seus polígonos em outros menores, que melhor aproximam a superfície desejada.

4.2 NURBS

A modelagem por meio de *Non-Uniform Rational B-Splines* (NURBS) é uma técnica que modela os objetos através de curvas e superfícies matemáticas, criando objetos com contornos suaves e realísticos. Através de pontos de controle que envolvem a superfície do objeto modelado, é possível deformá-lo de acordo com a forma que se deseja obter.

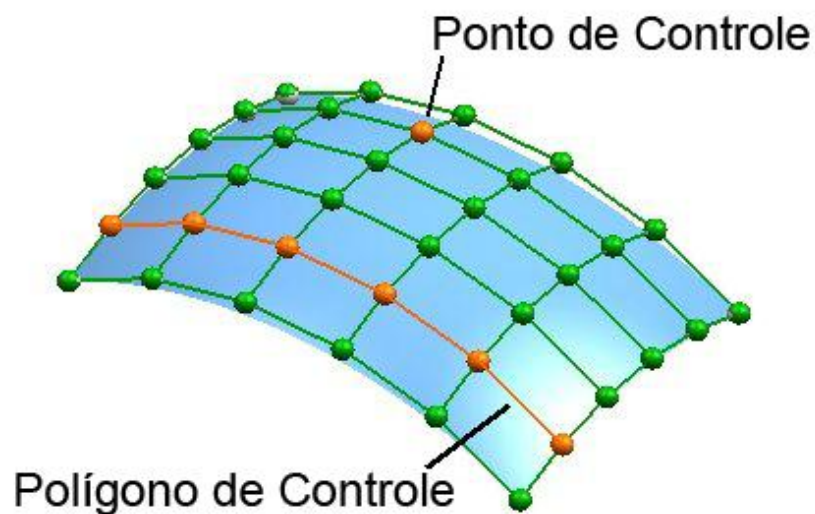


Figura 7. Superfície gerada por meio de curvas NURBS.
Fonte: Adaptado de CADAUNO (2009, tradução nossa).

Embora seja uma técnica de modelagem bastante poderosa e flexível, utilizada em softwares de *Computer-Aided Design* (CAD) e em filmes e comerciais de animação, seu uso em aplicações que envolvem simulações em tempo real não é viável, devido ao custo computacional da técnica durante a renderização.

4.3 REPRESENTAÇÃO DE AMBIENTES VIRTUAIS

Ambientes virtuais podem ser representados através de várias formas, que possuem seus pontos positivos e negativos. Todas as formas de representação compartilham

algumas características em comum, que contribuem para a adequada representação virtual de um objeto ou ser vivo real.

4.3.1 Formas de Representação

As formas de representação mais utilizadas estão disponíveis na maioria dos softwares de modelagem 3D, e são geralmente mais utilizadas em certas aplicações, onde seus pontos fortes justificam seu uso.

4.3.1.1 Superfícies

Quanto representado por superfícies, o objeto pode ser concebido através de malhas poligonais, subdivisão de superfícies ou superfícies paramétricas.

Malha poligonal é uma coleção de vértices, arestas e faces que definem a forma de um objeto poliédrico. As faces são geralmente compostas por triângulos, quadriláteros ou polígonos convexos simples (CLINTON, 2008).

Subdivisão de superfícies é um método de representação de superfícies detalhadas através da criação de uma malha poligonal simples que, quando dividida utilizando algoritmos de subdivisão, produz uma versão mais suave e detalhada do modelo (HOLMES3D, 2010).

Superfícies paramétricas são representações matemáticas que aproximam as curvas do objeto original do modelo, e podem ser geradas por meio de *splines* ou curvas NURBS. Os modelos representados por esta técnica já possuem curvas suaves devido a natureza matemática da representação (RATNER, 2003).

4.3.1.2 Sólidos

Este tipo de representação é mais utilizada em projetos de engenharia, pois os objetos possuem volume e outras características que são essenciais para a sua correta simulação. Pode-se utilizar representação através de *voxels*, CSG ou *sweep* (LACOURSE, 1995).

4.3.2 Características

A modelagem de um objeto do mundo real envolve geralmente a aplicação de algumas características para que ele se assemelhe o máximo possível ao original.

4.3.2.1 Textura

A textura é uma das principais características de um objeto virtual. Uma boa textura é capaz de dar um ótimo grau de realismo a um objeto, e é um processo relativamente simples de se fazer (CLINTON, 2008).

Trata-se de uma imagem bidimensional que é mapeada na superfície do objeto tridimensional, que envolve-o como se fosse uma capa, conforme ilustra a Figura 8.

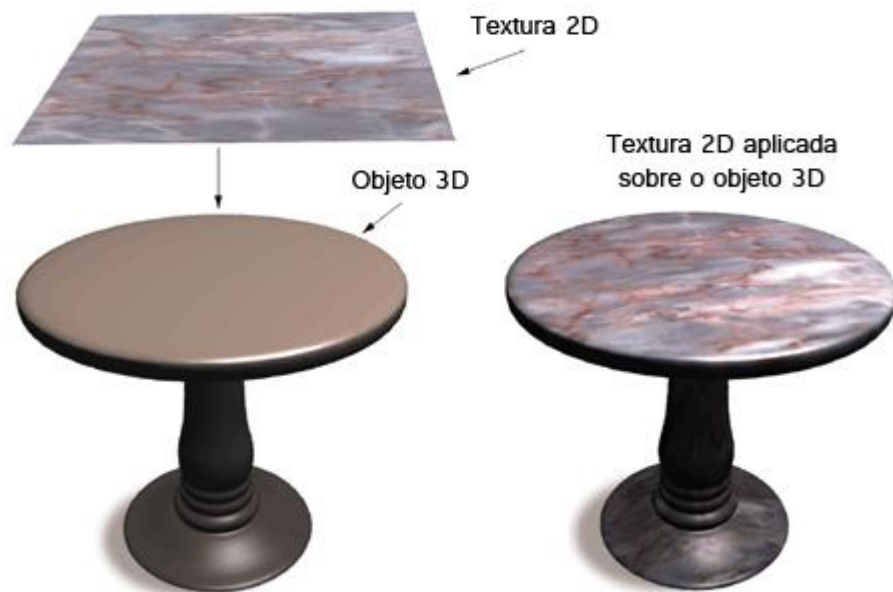


Figura 8. Exemplo da aplicação de uma textura a um objeto 3D.
Fonte: Adaptado de ZDNET (2001).

4.3.2.2 Cor

Quando um objeto é composto por um material simples e não possui muitos detalhes, este pode dispensar o uso de texturas. A renderização baseada na cor de um objeto requer a utilização de algoritmos de sombreado, como *gourad* ou *phong*.

4.3.2.3 Reflexão

É uma característica encontrada em superfícies como espelhos ou água. Superfícies reflexivas são capazes de refletir a luz que as atingem, e existem diversas técnicas de se obter este efeito em uma simulação por computador.

Uma das técnicas mais complexas e fisicamente corretas para a obtenção deste efeito é chamada de *ray-tracing*, e consiste na simulação do trajeto que os raios de luz do

mundo real fariam ao passar pela cena, sendo refletidos e refratados de acordo com as características dos objetos, até chegarem aos olhos do espectador.

4.3.2.4 Refração

Semelhante a reflexão, a refração é um fenômeno que faz com que um raio de luz sofra mudanças na sua direção quando entra em contato com uma superfície refrativa. Esta característica é observada em objetos metálicos, vidro, água, etc. A mesma técnica descrita no item anterior pode ser utilizada para obter uma simulação de refração realística e fisicamente correta.

4.3.2.5 Animação

Esta é uma característica que separa os objetos estáticos de objetos dinâmicos. Objetos estáticos são inanimados, geralmente rígidos, e não se movem por si próprios. Objetos dinâmicos são objetos que são capazes de se movimentar, e para tal utilizam técnicas de animação (CLINTON, 2008).

As técnicas de animação mais comuns são a animação por *keyframes*, que consiste na criação e no posicionamento da malha poligonal ao longo do movimento que se quer representar, e depois interpolando-se cada etapa obtém-se uma animação fluída; e a animação simulada por meio de *bones*, que consiste na criação de elementos estruturais análogos aos ossos do corpo humano que são então relacionados a regiões da malha poligonal e exercem influência sobre ela durante a movimentação. Utilizando-se técnicas como captura de movimentos, é possível fazer com que um objeto virtual movimente-se exatamente iguala a sua versão do mundo real (CLINTON, 2008).

4.4 FERRAMENTAS DE MODELAGEM

O processo de modelagem de ambientes virtuais requer a utilização de várias ferramentas especializadas, como softwares de modelagem tridimensional para a criação dos objetos que compõem o AV, softwares de criação e edição de imagens virtuais para a elaboração de texturas, dentre outros.

Esta seção aborda alguns destes softwares e descreve suas principais características.

4.4.1 Autodesk 3ds Max

O *3ds Max*, que antes era conhecido como *3D Studio Max*, é um dos softwares de modelagem 3D mais completos do mercado. Ele permite a criação e renderização de imagens e animações, sendo utilizado na produção de filmes de animação, criação de personagens para jogos 3D, comerciais de TV, maquetes virtuais e na criação de mundos virtuais.

É possível utilizar várias técnicas de modelagem no 3ds Max, como modelagem poligonal ou por curvas NURBS. Para cada técnica, o 3ds Max oferece uma grande variedade de ferramentas que tornam o processo de modelagem mais rápido e dinâmico.

O 3ds Max conta com um editor de materiais que permite a criação de materiais desde os mais simples, como mapeamentos de textura simples até materiais bastante complexos, com propriedades refrativas e reflexivas.

Embora seja um software pago, é possível utilizar o 3ds em versão de teste por 30 dias, e a desenvolvedora comercializa uma licença para uso educativo que tem um preço relativamente baixo em comparação a licença comercial completa.

4.4.2 Blender

O *Blender* é um software de código aberto desenvolvido pela *Blender Foundation* que permite, dentre várias outras opções, a modelagem e animação de modelos 3D. O *Blender* é multiplataforma, e tem versões para *Windows* e *Linux*, dentre outros sistemas operacionais modernos.

Ele implementa ferramentas similares às de outros programas proprietários, que incluem avançadas ferramentas de simulação, tais como: dinâmica de corpo rígido, dinâmica de corpo macio e dinâmica de fluidos e ferramentas de modelagem baseadas em modificadores (BLENDER, 2010).

Também incorpora ferramentas de animação de personagens, um sistema de composição baseado em “nós” de texturas, cenas e imagens, e um editor de imagem e vídeo, com suporte a pós-produção (BLENDER, 2010).

Um dos recursos que diferencia o *Blender* de outros softwares do gênero é o seu motor de jogo integrado, o *Blender Game Engine*. Este motor pode ser utilizado para a criação de jogos eletrônicos, e tendo Python como linguagem de *scripting*, o *Blender* é uma ferramenta bastante poderosa (BLENDER, 2010).

4.4.3 X3D-Edit

X3D-Edit é um editor gráfico de arquivos para X3D que permite edição livre de erro, autorização e validação de arquivos de cena X3D ou VRML.

Usa o conjunto de construções XML definidos pelo *X3D Compact Document Type Definition* (DTD) juntamente com o Java da Sun Microsystems, com o editor de XML *Xeena* da IBM e arquivos de configuração.

4.4.4 Adobe Photoshop

O Photoshop é um software de edição de imagens do tipo *raster* (imagens bitmap) desenvolvido pela *Adobe Systems*, e é considerado líder no mercado de editores profissionais.

Suas principais características incluem a utilização de camadas para a composição de imagens complexas, efeitos e técnicas de pintura, máscaras, dentre outros recursos avançados.

No contexto da modelagem de ambientes, é uma excelente ferramenta para a criação, edição e ajuste de imagens utilizadas durante o processo de modelagem do ambiente, como os gabaritos que auxiliam no processo de criação dos objetos, e as texturas, que são o principal elemento de realismo de um objeto 3D.

5 TRABALHOS CORRELATOS

Este capítulo é dedicado aos trabalhos correlatos. Os assuntos abordados nos trabalhos apresentados abaixo tratam de RV e suas aplicações em diversas áreas, modelagem de ambientes virtuais e técnicas de imersão nesses ambientes, e de tecnologias de RV para a *Web*.

5.1 DESERTESEJO: UM PROJETO DE AV MULTIUSUÁRIO NA WEB

O trabalho desenvolvido por Gilberto Prado e apresentado no 13º Simpósio Brasileiro de Computação Gráfica e Processamento de Imagens realizado em outubro de 2000 demonstra um ambiente virtual interativo multiusuário para Internet construído em VRML que permite a presença simultânea de até 50 participantes.

São espaços navegáveis desenvolvidos em três rotas distintas onde o participante trabalha com diferentes pontos de vistas, formas de aproximação e caminhos que se entrecruzam e se alternam, que se encadeiam e se compõem em diversos percursos oníricos (PRADO, 2000).

5.2 SISTEMAS DE RV PARA SUPORTE AO ENSINO

O trabalho teve como objetivo demonstrar que a aplicação de ferramentas de RV de baixo custo pode ser utilizada para auxiliar no ensino, interligando ambientes virtuais com reais. Foi construído um protótipo de laboratório virtual para a utilização em disciplinas de redes de computadores.

Por fim, foi apresentado um estudo de caso do treinamento continuado que usa como ferramenta esse protótipo e disponibiliza ao usuário recursos que permitem que ele teste conectividade com equipamentos do mundo real, acessando até páginas da Web. O resultado demonstra o potencial de aplicações de RV de baixo custo e seu uso na educação (PINHEIRO, 2005).

5.3 DA IMERSÃO À EMOÇÃO: A PRESENÇA EM JOGOS DIGITAIS

O trabalho teve como objetivo identificar a relação sobre as emoções suscitadas no ambiente virtual dos jogos digitais em relação ao processo imersivo, e foi caracterizado com o reconhecimento de que a partir da imersão, os usuários de jogos digitais podem reagir emocionalmente em resposta ao conteúdo virtual dos jogos.

Para alcançar seu objetivo, foi feito um estudo conceitual dos termos emoção, virtual e imersão no contexto dos jogos digitais, e o resultado do trabalho foi a compreensão de que a imersão tem bastante influência sob a satisfação dos usuários de jogos e é capaz de trazer muitos benefícios para as empresas que os desenvolvem (MACDONALD, 2006).

5.5 MODELAGEM DE AMBIENTES VIRTUAIS PARA JOGOS ELETRÔNICOS

O trabalho elaborado e apresentado por Messias José Amador do Nascimento para a obtenção do grau de Engenheiro da Computação pela Universidade Federal do Pará abordou técnicas de modelagem de ambientes virtuais usadas para o desenvolvimento de jogos educativos.

Por meio das técnicas apresentadas e pela utilização de ferramentas de modelagem e edição de imagens, o autor foi capaz de recriar ambientes existentes durante a Revolta da

Cabanagem, ocorrida no Pará no início do século XIX. Fazendo uso do *framework* gráfico *Ogre3D*, o ambiente modelado tornou-se completamente explorável e pronto para utilização por alunos do Ensino Fundamental nas aulas de História (NASCIMENTO, 2008).

5.4 REALIDADE VIRTUAL E EXPERIÊNCIA DO ESPAÇO

O objetivo deste trabalho foi o exame de conceitos da realidade virtual a partir de uma abordagem não-dualista. O autor fez um levantamento dos principais conceitos técnicos envolvidos no tema, compreendendo suas influências na experiência do usuário.

Por meio de uma discussão da participação no ambiente virtual, é sugerido um possível modo de se compreender a imersão a partir da concepção fenomenológica da situação (MENEGUETTE, 2010).

6 PROTÓTIPO PARA VISUALIZAÇÃO E EXPLORAÇÃO IMERSIVA DE UM AMBIENTE VIRTUAL NA WEB

Esta pesquisa consistiu na modelagem e a implementação de um protótipo para visualização e exploração imersiva em um ambiente virtual Web com uso de técnicas de realidade virtual (RV). Para a elaboração deste protótipo foram efetuados: uma pesquisa bibliográfica, a modelagem de um ambiente virtual (AV) e a elaboração de um estudo de caso.

Os objetivos práticos deste trabalho, a partir do referencial teórico, são:

- a) realizar um estudo de caso de realidade virtual baseado na imersão em um ambiente virtual Web;
- b) modelar um ambiente virtual;
- c) desenvolver um protótipo para visualização e exploração imersiva que faça uso das características estudadas;
- d) avaliar as técnicas aplicadas e descrever a experiência alcançada do ponto de vista da imersão.

Para avaliar as características imersivas de um AV baseado na Web foi realizado um estudo de caso que possibilitava a exploração e visualização de um AV por meio de uma tecnologia de RV baseada na Web. Um AV completo foi modelado e implementado utilizando essa tecnologia.

Na modelagem do AV do estudo de caso, foi utilizada a ferramenta comercial 3ds Max desenvolvido pela Autodesk, devido à familiaridade do autor com a ferramenta e pelos recursos oferecidos por ela, que é uma das mais completas do mercado.

Para a edição de imagens e criação de texturas foi utilizado o *software* comercial de edição de imagens *Photoshop CS5* desenvolvido pela *Adobe Systems*, também devido a familiaridade do autor com o software e por oferecer um *plug-in* para a importação de

imagens no formato *DirectDraw Surface* (DDS), formato em que as texturas utilizadas se encontravam inicialmente.

Na implementação do protótipo foi utilizado o plug-in *InstantExport* desenvolvido pelo instituto de pesquisa *Fraunhofer IGD* para realizar a exportação do AV modelado para o formato X3D por ser o único plug-in gratuito para uso não comercial disponível para a versão de 64-bits do *3ds Max 2010*.

Para a edição do arquivo X3D exportado foi utilizado o *X3D-Edit*, uma ferramenta de código aberto disponibilizado gratuitamente e recomendada pela instituição responsável pela especificação do X3D, o *Web3D Consortium*.

Na visualização do protótipo foram utilizados os *softwares* de visualização *Octaga Player*, *Instant Player*, *FreeWRL* e *SwirlX3D*, embora somente o último tenha se mostrado adequado.

6.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO ESTUDO DE CASO

O ambiente virtual escolhido para estudo de caso é caracterizado por um espaço aberto repleto de vegetação que pode ser completamente explorado. Este espaço aberto é rodeado por cadeias de montanhas, que impõem os limites físicos do AV. Existe também uma pequena casa de rancho dentro da área explorável, ao qual o usuário tem livre acesso.

A escolha desta ambientação se deu pelo caráter de liberdade que um ambiente externo rico em vegetação pode oferecer, característica que contribui para a sensação de imersão do usuário, que pode explorar toda a extensão do AV sem estar limitado a quatro paredes.

Durante o processo de elaboração e definição das entidades do AV, buscou-se propiciar um ambiente em que o usuário fosse capaz de navegar com um bom grau de

realismo, aplicando técnicas de RV capazes de contribuir para o sentimento de imersão que se desejou alcançar.

6.2 METODOLOGIA

A metodologia aplicada para o desenvolvimento desta pesquisa compreendeu, inicialmente, a etapa de levantamento bibliográfico realizado em monografias, livros, artigos, dissertações e páginas na web. Nesta etapa foram estudados os assuntos relacionados ao trabalho, como realidade virtual, tecnologias para a aplicação de RV na Web, imersão, modelagem de ambientes, técnicas de modelagem e ferramentas de modelagem, visando compreender suas características e aplicações.

Além desta etapa também foi realizada a modelagem e implementação de um protótipo para a exploração de um AV utilizando técnicas e tecnologias de RV imersiva. As atividades realizadas foram:

- a) descrição do contexto do estudo de caso e das características desejadas;
- b) definição e modelagem das entidades constituintes do ambiente virtual;
- c) implementação de um protótipo de visualização e exploração imersiva do ambiente modelado aplicando tecnologias Web e de realidade virtual com base na imersão;
- d) avaliação da imersão alcançada durante a visualização e exploração do ambiente modelado.

6.2.1 Modelagem do Ambiente Virtual

O ambiente virtual desenvolvido no estudo de caso foi modelado no *3ds Max* com o auxílio do *plug-in Texporter* e do *Adobe Photoshop CS5* para a edição de imagens. As texturas utilizadas nos modelos foram todas retiradas do jogo online *Aion: The Tower of Eternity* desenvolvido pela *NCSoft*. As texturas foram utilizadas apenas para fins acadêmicos e não comerciais.

As entidades escolhidas para o estudo de caso podem ser divididas em: vegetação, construções, solo e céu. Cada uma foi modelada individualmente e todo o processo foi documentado.

6.2.1.1 Vegetação

A vegetação incluída no estudo de caso inclui árvores, grama e algumas flores. Para a modelagem desses elementos foram utilizadas duas técnicas de modelagem, que visavam obter o nível de detalhe desejado.



Figura 9. Tela do 3ds Max mostrando o modelo final da árvore.

A primeira árvore modelada, mostrada na Figura 9, foi construída a partir de um gabarito desenhado no *Photoshop*. O processo de modelagem a partir de gabaritos consiste na criação de uma imagem bidimensional que esboça o objeto visualizado a partir de um de seus lados. Para a árvore mostrada, foram criados dois gabaritos, um com o esboço da árvore vista de frente, e outro com o esboço da árvore vista de lado. Os gabaritos podem ser visualizados na Figura 10.

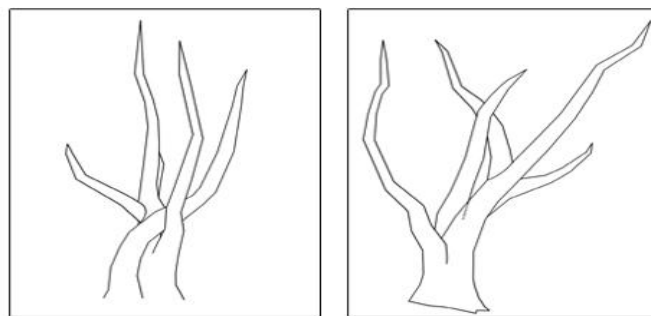


Figura 10. Gabaritos utilizados na modelagem do tronco.

Após a criação dos gabaritos, o processo é levado ao *3ds Max*, onde são criadas duas primitivas *Plane* (plano) perpendiculares entre si (Figura 11a), onde os gabaritos são exibidos como referência para a modelagem. Para a exibição dos gabaritos criados anteriormente no *Photoshop*, são criados dois materiais (Figura 11b) contendo as imagens bidimensionais que são então mapeadas na superfície tridimensional de seus respectivos planos (Figura 11c) quando o material é aplicado.

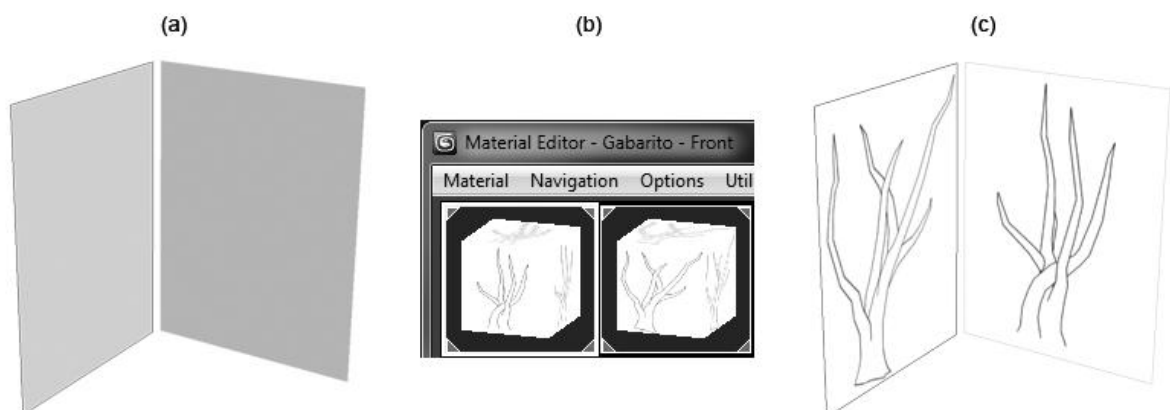


Figura 11. (a) planos perpendiculares (b) materiais (c) planos com os gabaritos.

A modelagem do tronco foi iniciada a partir de uma primitiva básica *Cylinder* (cilindro) de 10 lados. A primitiva foi então convertida para *Editable Poly* (polígono editável), que é um tipo do *3ds Max* que permite a manipulação dos elementos básicos da estrutura – seus vértices, arestas e polígonos.

Por meio de operações como o *Extrude* e o *Bevel*, foi criando-se o volume do tronco, enquanto sua forma e direção eram ajustadas por meio da movimentação, rotação e dimensionamento de seus vértices e polígonos.

A criação dos galhos, que separam o cilindro em direções opostas, foi feita por meio da ferramenta *Cut*, onde cortes foram feitos no polígono para que posteriormente dois galhos independentes pudessem ser criados por meio de operações de *Extrude* e *Bevel*. Os demais galhos também foram criados com base neste princípio. O processo de modelagem do tronco pode ser visualizado na Figura 12.

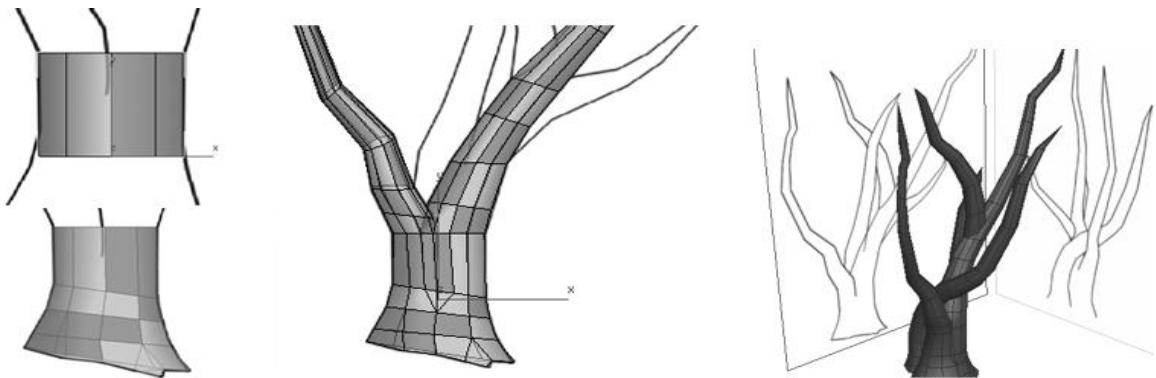


Figura 12. Etapas do processo de modelagem do tronco.

Finalizada a modelagem poligonal do tronco da árvore, iniciou-se o processo de texturização. Por se tratar de uma forma bastante orgânica, a utilização de uma técnica de mapeamento mais simples como o mapeamento cilíndrico não se mostrou adequada, pois a textura sofria muitas deformações quando aplicada a geometria do tronco, conforme Figura 13.



Figura 13. Deformações na textura do tronco devido ao mapeamento cilíndrico.

Por esse motivo, optou-se pela técnica de mapeamento UVW¹. Esta técnica consiste em planificar a geometria do objeto que se deseja texturizar para que ele possa ser visualizado em um plano bidimensional, possibilitando a criação de uma textura que pode ser mapeada com perfeição sobre a geometria do objeto. A aplicação do modificador *Unwrap UVW* do *3ds Max* possibilita o acesso à janela de edição de UVs, onde é possível ver a planificação inicial gerada pelo modificador, conforme Figura 14. Esta planificação não é ideal, pois a superfície do objeto fica espalhada em diversas partes do plano bidimensional, tornando difícil a elaboração de uma textura contínua.

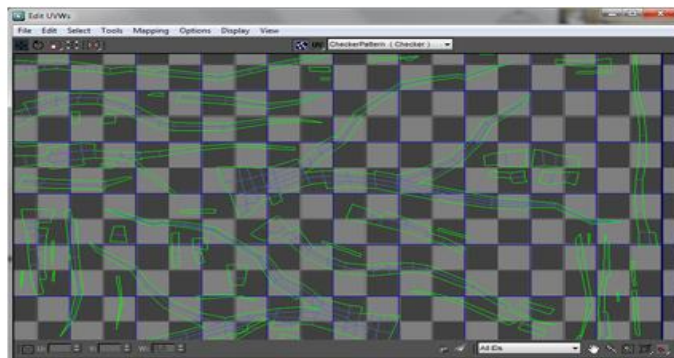


Figura 14. Janela de edição de UVs do *3ds Max*.

A solução para este problema foi manipular manualmente os fragmentos da superfície do tronco a fim de juntá-los e criar uma superfície contínua. A janela de edição de UVs permite que os vértices da geometria do tronco sejam manipulados individualmente ou

¹ Técnica matemática para mapeamento de coordenadas, utilizada para projetar uma imagem 2D sobre a superfície de um objeto 3D. Mais detalhes em Van Verth e Bishop (2004).

em grupos, e por meio das ferramentas disponíveis é possível organizá-los de forma a obter-se uma planificação contínua e adequada para a criação de uma textura.

Para a criação de uma textura a partir do mapeamento realizado utilizou-se o *plug-in Texporter* do *3ds Max*. Este *plug-in* gera uma imagem a partir do mapeamento UV do objeto que pode ser salva em vários formatos e ser editada em um *software* de edição de imagens. A imagem gerada representa a geometria do objeto, e cada polígono dela é mapeado no polígono correspondente no objeto. A partir desta imagem, foi possível criar a textura do tronco no *Photoshop CS5*. O mapeamento UV final do tronco pode ser visto na Figura 15a, a imagem gerada pelo *plug-in Texporter* pode ser vista na Figura 15b e a textura criada com base nesta imagem na Figura 15c.

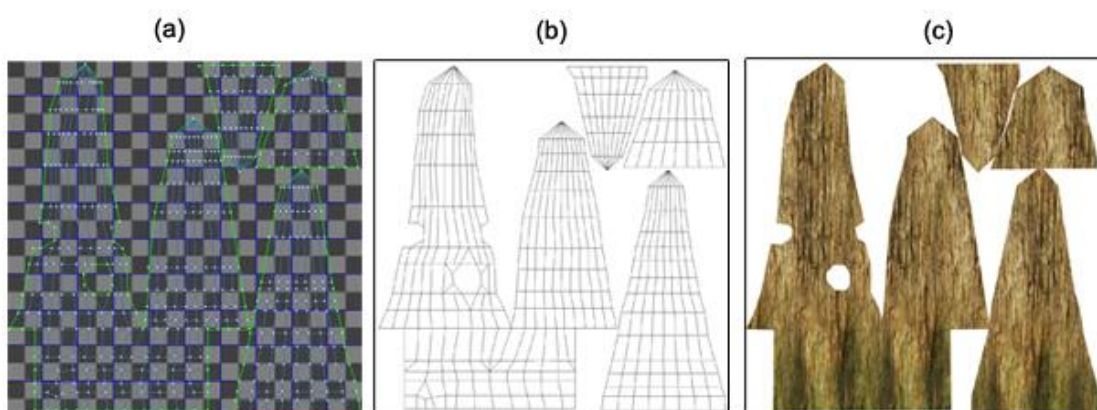


Figura 15. (a) mapeamento UV (b) imagem de referência (c) textura final.

Apenas os galhos principais e maiores da árvore foram modelados com volume. Os demais galhos menores que também contêm toda a folhagem da árvore foram modelados a partir de uma textura bidimensional para não comprometer o desempenho da simulação.

As texturas utilizadas podem ser vistas na Figura 16, contendo a imagem mapeada na superfície tridimensional que representa um galho e sua folhagem (16a) e o mapa de transparência (16b), que indica as partes visíveis da textura.



Figura 16. (a) textura com seu respectivo (b) mapa de transparência.

Cada galho foi mapeado em uma primitiva *Plane*, mostrado na Figura 17, que teve sua geometria alterada para dar curvatura à textura, característica que torna o modelo mais parecido com um galho de verdade.

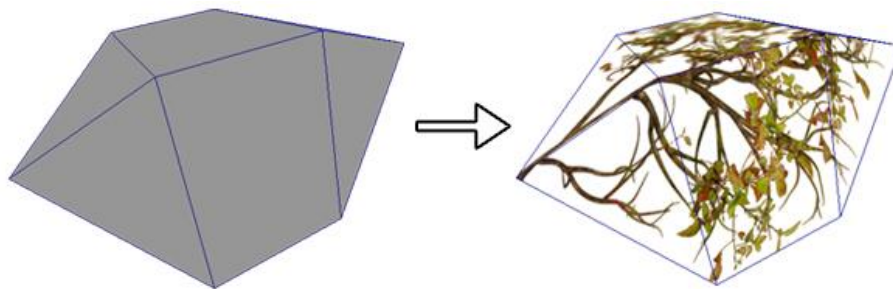


Figura 17. Plane mapeado para representar os galhos da árvore.

Para finalizar a modelagem da árvore, o galho modelado foi clonado diversas vezes e distribuído ao longo do tronco por meio do reposicionamento e rotação de sua geometria. Procurou-se distribuí-los de uma forma natural e aleatório, como se encontra na natureza.

Para dar mais variedade a vegetação utilizada na simulação, foi criada uma variação da árvore modelada anteriormente. A variação foi obtida por meio da rotação de uma das seções do tronco da árvore, fazendo-o apontar na direção oposta a original (Figura 18a). Os galhos associados a este tronco foram reposicionados para manter uma distribuição natural. O resultado final pode ser visto na Figura 18b.

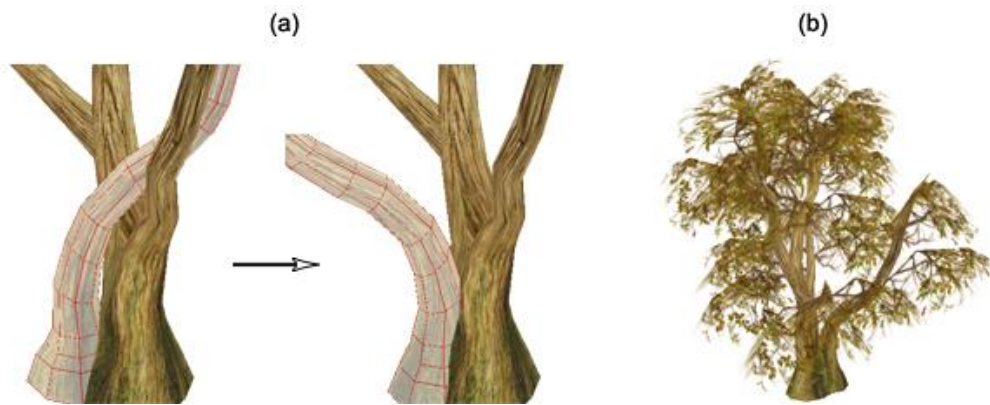


Figura 18. (a) modificação para criar uma variação de árvore (b) resultado final.

Para a modelagem dos demais elementos da vegetação, foi utilizada uma técnica de modelagem bastante simples que visa aumentar consideravelmente o nível de detalhamento do AV sem prejudicar seu desempenho.

A técnica consiste em mapear uma textura bidimensional sobre a superfície de uma primitiva *Plane* (Figura 19a), e então cloná-la de forma as primitivas fiquem perpendiculares entre si, mantendo um mesmo ponto central (Figura 19b). O resultado é um modelo que enriquece o AV sem prejudicar o desempenho, pois utiliza pouquíssimos polígonos para representar uma estrutura que seria complexa se modelada por meio de outras técnicas.



Figura 19. (a) textura sobre a primitiva Plane (b) modelo final.

Por meio desta técnica, foi realizada a modelagem de diversas entidades do AV, conforme ilustra a Figura 20. Nela pode-se ver várias graminhas altas juntas para formar um gramado bastante realístico (20a), uma flor roxa (20b), uma flor rosa (20c), um pinheiro (20d) e outro tipo de árvore (20e).

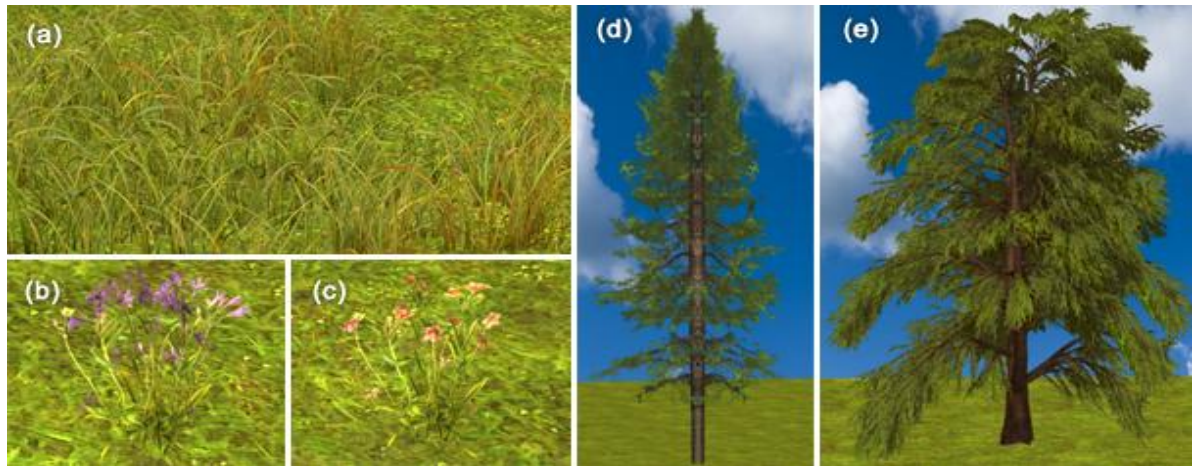


Figura 20. (a) grama alta (b) flor roxa (c) flor rosa (d) pinheiro (e) outra árvore.

6.2.1.2 Solo

O solo do AV é constituído de uma área grande e aberta de grama, em um terreno bastante irregular, contendo várias elevações e declives. Delimitando a área explorável encontram-se cadeias de montanhas, que ficam posicionadas nas extremidades do terreno. A Figura 21 ilustra esta característica do AV.



Figura 21. Visualização do solo e das montanhas do AV.

A área explorável, coberta por uma textura de grama, foi modelada a partir de uma primitiva *Plane* quadrada com a geometria dividida em 100 segmentos de largura e altura. Este número foi escolhido para que as modificações aplicadas adiante tivessem uma escala mais natural ao tamanho dos objetos e entidades modeladas para fazerem parte do AV.

Para dar-lhe uma aparência mais natural, foi aplicado o modificador paramétrico *Noise*, que permite que a geometria do *Plane* seja alterada por meio de parâmetros, que definem a intensidade de ruído em cada um dos eixos. Optou-se por aplicar o modificador apenas no eixo Y, de forma que foram criadas pequenas elevações e declives no terreno (Figura 22a). Também foi aplicado o modificador paramétrico *Bend*, para dar uma leve inclinação a um dos lados do terreno, de forma que ele não tenha um aspecto completamente plano. A fim de simplificar o processo de modelagem do terreno, optou-se por utilizar apenas uma textura em toda a sua extensão, que por meio da técnica de *Tiling* pôde preencher toda a superfície do *Plane*. *Tiling* é uma técnica de texturização que utiliza uma textura que é criada de forma a ser possível repeti-la indefinidamente, pois suas extremidades se encaixam perfeitamente. O resultado pode ser visto na Figura 22b.

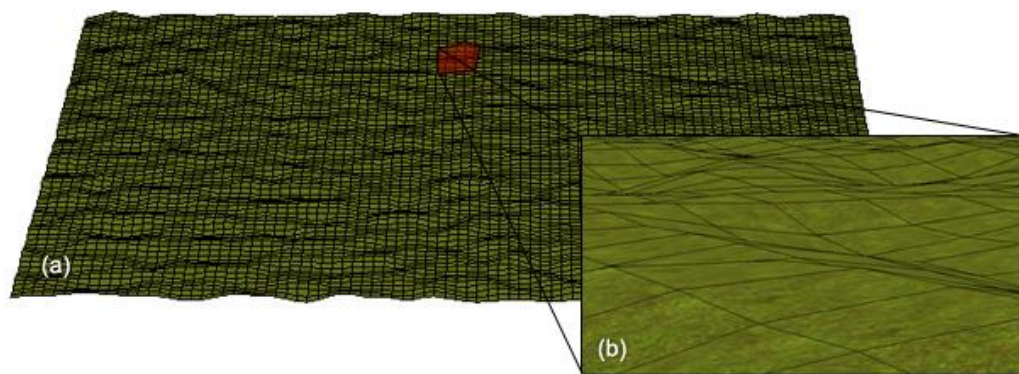


Figura 22. (a) deformações na superfície do terreno (b) textura com *tiling*.

Para a modelagem das montanhas que cercam o terreno modelado anteriormente, também foi utilizada uma primitiva *Plane*. O número de segmentos utilizados foi de 50 na largura e 20 no comprimento. Para dar ao *Plane* a aparência de uma cadeia de montanhas,

primeiramente ele foi convertido para um *editable poly*, a fim de manipular os seus vértices para criar picos e elevações.

Para facilitar o processo, foi utilizada uma ferramenta do *3ds Max* chamada *Soft Selection*. Esta ferramenta permite que a partir de um único vértice selecionado e alguns parâmetros configurados, a seleção abrange também os vértices próximos ao selecionado, que também são afetados, em menor grau, por quaisquer modificações feitas no vértice selecionado.

Depois de dar ao *Plane* a aparência característica de uma cadeia de montanhas, o modificador *Noise* foi aplicado para gerar pequenas distorções no eixo Y, dando um aspecto mais natural à entidade. Uma textura de rocha foi aplicada a entidade, e a técnica de *tiling* foi utilizada para melhorar o aspecto visual. Devido a irregularidade da geometria desta entidade, a repetição da textura fica pouco evidente. A Figura 23 ilustra a utilização da ferramenta *Soft Selection* para a definição da forma do *Plane* (23a) e o resultado final após a aplicação do modificador *Noise* e da aplicação da textura (23b).

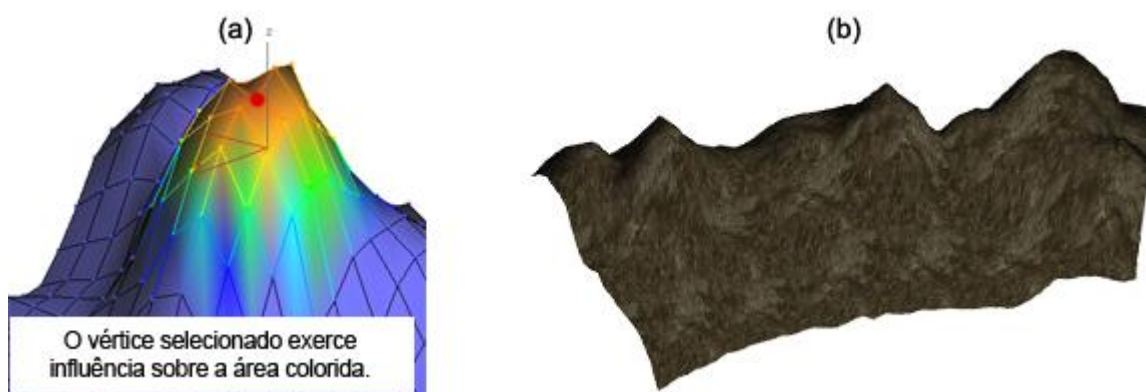


Figura 23. (a) ferramenta *Soft Selection* (b) modelo final das montanhas.

Para que toda a parte de grama ficasse cercada por montanhas, a cadeia modelada anteriormente teve o modificador *Bend* aplicado, de modo que ela ficasse curvada em um semicírculo em torno de um dos lados do terreno. Para finalizar, as montanhas foram clonadas

três vezes e posicionadas de forma a cercar todo o terreno, e encaixarem de forma adequada umas nas outras.

6.2.1.3 Construções

O AV modelado conta com apenas uma construção, que é uma pequena casa de rancho rústica. O processo de modelagem iniciou com a elaboração dos gabaritos no Photoshop, como na modelagem das árvores da seção 6.2.1.1. Para a casa, foi elaborado um gabarito adicional, que esboça a casa vista de cima. Todos os gabaritos foram elaborados utilizando medidas reais, para que a proporção entre seus elementos seja mantida. Os gabaritos elaborados podem ser vistos na Figura 24.

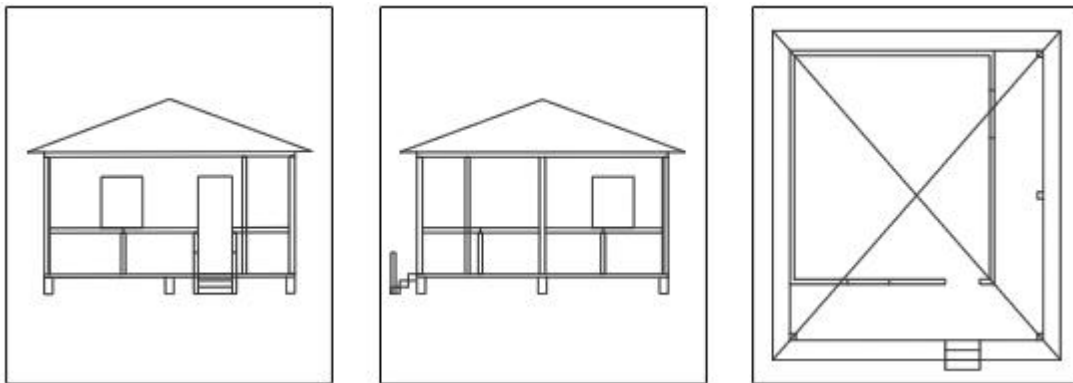


Figura 24. Gabaritos para a modelagem da casa de rancho.

Para esta entidade adotou-se um processo de modelagem diferente daquele utilizado nas árvores da seção 6.2.1.1. Nelas, utilizou-se a modelagem poligonal, que é a técnica mais adequada para a modelagem de formas orgânicas. A casa, no entanto, é uma entidade bastante geométrica, e pôde ser construída com a utilização de várias primitivas básicas do *3ds Max*, como *Box*, *Cylinder* e *Pyramid*.

A calçada foi modelada com a utilização de uma primitiva estendida do *3ds Max*, chamada de *L-Ext*. Esta primitiva adota o formato de um L, e pode-se definir o tamanho e a largura de cada uma de suas seções. A Figura 25 ilustra esta primitiva já texturizada servindo de calçada para a casa de rancho.



Figura 25. Calçada modelada a partir de uma primitiva *L-Ext*.

As paredes foram modeladas utilizando uma técnica diferente das anteriores, devido à presença de furos na geometria onde ficam a porta e as janelas. Primeiro foi criada uma *spline*² em forma de retângulo descrevendo todo o perímetro das paredes, de acordo com o gabarito. Depois foi criada uma segunda *spline* em forma de retângulo descrevendo a altura e a espessura desejadas para a parede, como em um corte transversal, com base no gabarito lateral. Por fim, foi utilizada a ferramenta *Loft* do *3ds Max* para gerar a malha poligonal da parede a partir das duas *splines* criadas.

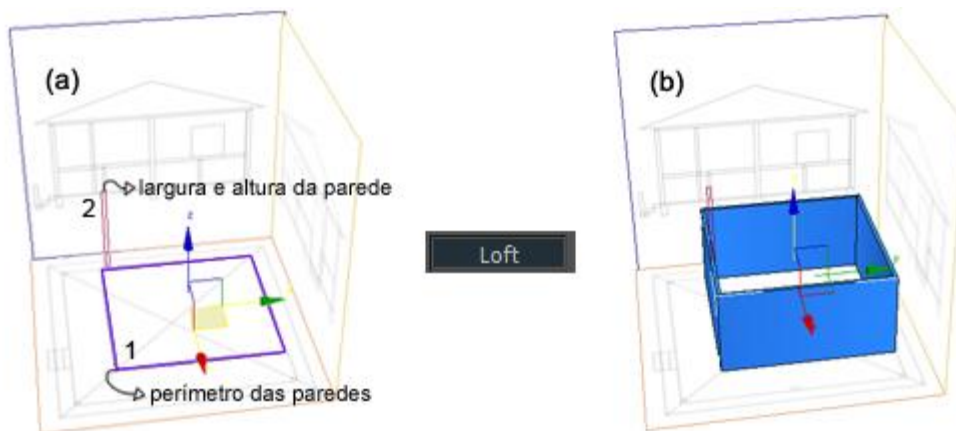


Figura 26. (a) *splines* para a criação das paredes (b) resultado da ferramenta *Loft*.

² O *3ds Max* utiliza *b-splines* como modelo de *spline* para representar formas básicas, como retângulos. Mais detalhes em Bartels, Beatty e Barsky (1987).

A Figura 26a ilustra esse processo, onde a *spline 2* é utilizada como referência para a criação de geometria ao longo da *spline 1*. O resultado pode ser visto na Figura 26b, onde a parede gerada tem a forma exata da *spline 2*, e percorre toda a extensão da *spline 1*.

Para o corte da geometria na posição onde ficam a porta e a janela foram utilizados operadores booleanos. O processo consistiu-se primeiramente da criação de um *Box* com a altura e a largura correspondente a da porta da casa de rancho. Este *Box* foi em seguida posicionado de acordo com a posição da porta no gabarito, e de forma que sua geometria ficasse em intersecção com a geometria da parede, de acordo com a Figura 27a.

O operador booleano *Subtract* foi aplicado para que toda a área de intersecção entre a parede e *Box* fosse removida, criando desta forma o corte necessário para acomodar a porta da casa de rancho. O mesmo processo foi aplicado para os cortes das duas janelas. O resultado pode ser visto na Figura 27b.

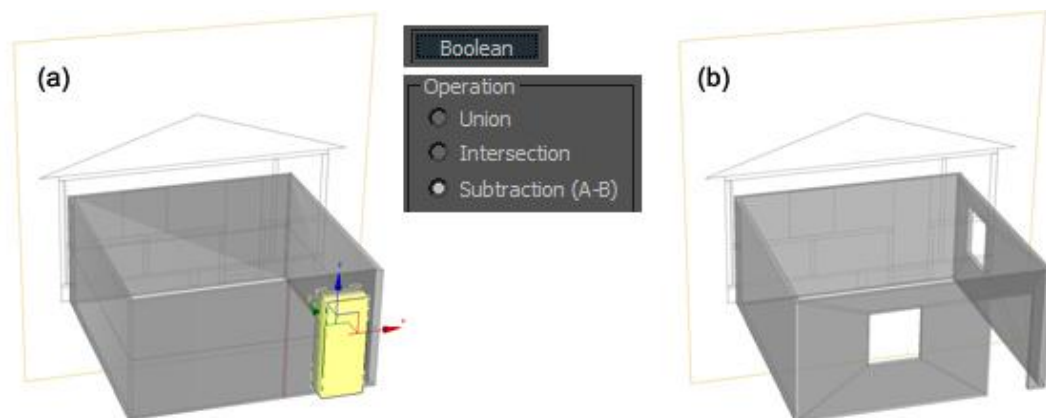


Figura 27. (a) preparação para o uso do operador booleano (b) resultado final.

O corrimão da escada de subida para a calçada e toda a sua extensão ao longo da extremidade da calçada for modelada por meio de primitivas *Box* e *Cylinder*, que foram posicionadas de acordo com o gabarito.

O telhado foi criado a partir de uma primitiva *Pyramid*, que foi apenas ajustada para o tamanho correto e posicionada em seu devido lugar. Os degraus e os troncos de árvore que elevam a casa acima do solo também foram criados por meio deste processo, utilizando

primitivas *Box* e *Cylinder*, respectivamente. O resultado final da modelagem da casa de rancho pode ser visto na Figura 28.

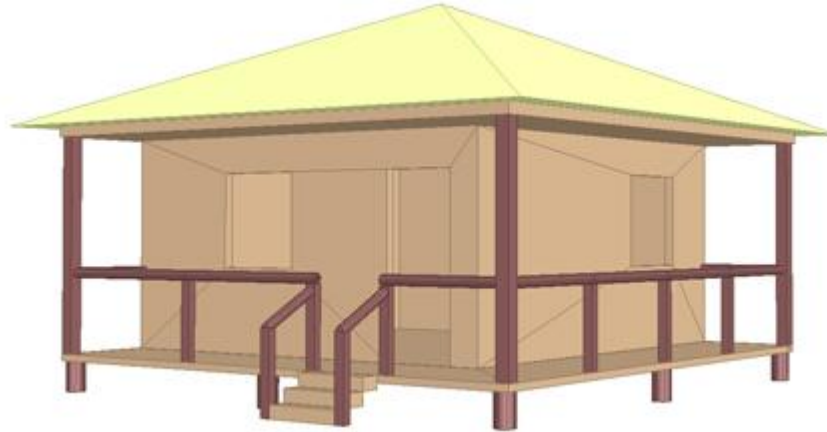


Figura 28. Resultado final da modelagem da casa.

O mapeamento de texturas de cada parte da casa utilizou uma técnica que é chamada de *Multi/Sub-Object* dentro do *3ds Max*. Ela consiste na aplicação de diferentes texturas para cada grupo de polígonos do objeto, e permite que utilize-se mapeamentos diferentes para cada um deles.

Desta forma, é possível aplicar um mapeamento UVW cilíndrico na superfície dos cilindros utilizados no corrimão, e aplicar um mapeamento UVW planar nas extremidades, aplicando a textura apropriada para cada um.

O mapeamento de todas as partes da casa utilizaram a mesma técnica, que será demonstrada para um dos troncos que compõem o corrimão.

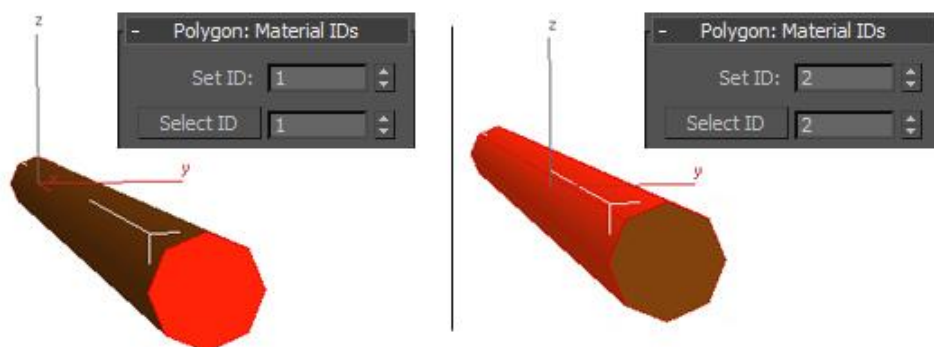


Figura 29. Atribuição de diferentes IDs aos polígonos do objeto.

Primeiramente, o objeto é convertido para *editable poly*, para que seja possível atribuir identificadores (IDs) a cada grupo de polígonos que recebe uma textura diferente. A Figura 29 demonstra a atribuição de IDs às duas partes do tronco que receberão texturas distintas. As duas extremidades do tronco receberam ID 1 e a superfície recebeu ID 2.

Mantendo os polígonos com ID 1 selecionados, o modificador *UVW Map* é aplicado com mapeamento cilíndrico, ideal para os polígonos deste ID. Para aplicar outro mapeamento nos demais polígonos, o modificador *Poly Select* é aplicado, permitindo que um novo grupo de polígonos seja selecionado para o próximo mapeamento. Tendo os polígonos com ID 2 selecionados, aplica-se novamente o modificador *UVW Map*, escolhendo mapeamento planar nas suas opções. O processo pode ser visualizado na Figura 30.

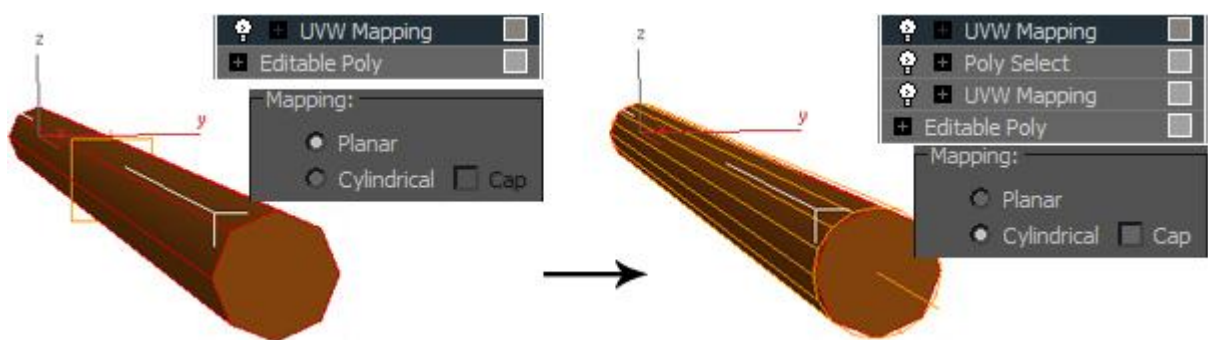


Figura 30. Aplicando o modificador *UVW Map* nos grupos de polígonos.

Com o cilindro corretamente mapeado, cria-se um material *Multi/Sub-Object* onde cada textura é atribuída a um ID, que corresponde aos IDs utilizados no mapeamento (Figura 31a). O resultado pode ser visto na Figura 31b.

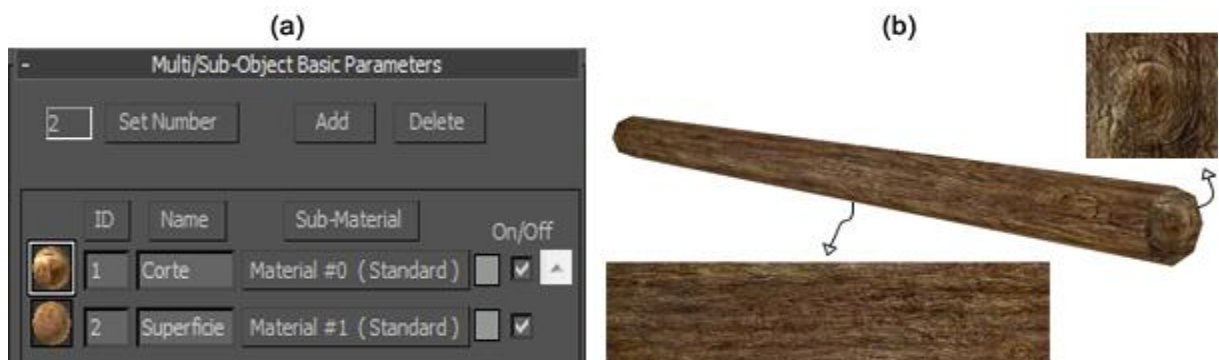


Figura 31. (a) material *Multi/Sub-Object* (b) resultado obtido.

O modelo da casa de rancho com o mapeamento de texturas finalizado pode ser visto na Figura 32, onde ele é apresentado em dois ângulos diferentes. A utilização dos gabaritos permitiu que o modelo fosse modelado em escala natural, semelhantes às de uma casa de verdade.



Figura 32. Modelo final da casa de rancho.

6.2.1.4 Céu

Para a criação do céu do AV, optou-se pela utilização de uma técnica conhecida como *skybox*, que consiste na elaboração de cinco imagens que são mapeadas em um cubo gigantesco que cobre toda a área explorável pelo usuário, de forma que ele fique sempre situado dentro deste cubo.

Cada imagem é associada a um dos lados do cubo, e um algoritmo se encarrega de renderizá-las de acordo com a posição do usuário. Como o X3D disponibiliza de um componente que gera um *skybox* a partir das imagens, a modelagem desta característica do AV foi bastante simples, precisando-se apenas encontrar texturas adequadas para a montagem de um *skybox*.

6.2.1.5 Montagem do Ambiente Virtual

Finalizada a modelagem das entidades, a etapa final foi a montagem do AV. Foi um processo simples, que consistiu em reunir todas as entidades modeladas e distribuí-las no terreno, criando o ambiente desejado. A Figura 33 ilustra a montagem do AV, vista de um ponto próximo à casa de rancho.



Figura 33. Resultado final da modelagem do Ambiente Virtual.

Foi adicionada também uma câmera ao AV, posicionada em um ponto à casa de rancho, para onde também foi apontada, conforme ilustra a Figura 34a. O propósito desta câmera é servir como *Viewpoint* durante a implementação do protótipo.

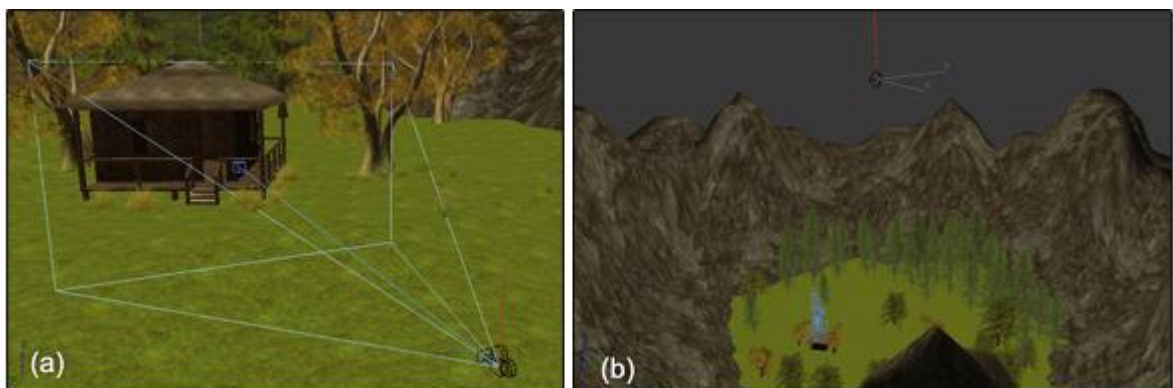


Figura 34. (a) câmera apontando para a casa (b) luz posicionada acima do AV.

Por fim, foi adicionada uma luz do tipo *Point Light*, que emite luz em todas as direções, para adicionar um certo grau de realismo e dispensar a utilização da luz padrão dos softwares de visualização. A Figura 34b ilustra o posicionamento da luz criada.

6.2.2 Implementação do Protótipo

A implementação do protótipo teve início com a exportação do AV modelado no *3ds Max* para o formato X3D. Esta etapa foi dificultada por alguns fatores:

- a) o *3ds Max* não é capaz de exportar objetos e cenas para o formato X3D nativamente, embora suporte exportar para VRML;
- b) a exportação pode ser feita por *plug-ins* externos, mas estes devem ser compatíveis com a versão utilizada e com a arquitetura do executável (32 ou 64 bits);
- c) foi utilizada a versão de 64-bits do *3ds Max 2010*, limitando muito os *plug-ins* disponíveis.

Por fim, dois *plug-ins* poderiam ser utilizados: *InstantExport* e *Octaga Exporter*. O *Octaga Exporter* é desenvolvido por uma empresa comercial que também desenvolveu um browser, chamado *Octaga Player*.

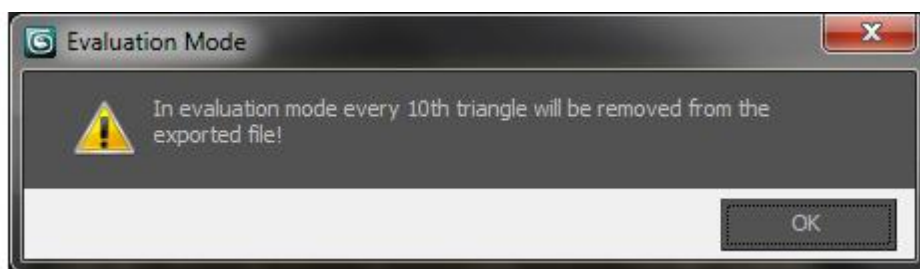


Figura 35. Limitação da versão gratuita do *Octaga Exporter*.

O primeiro plug-in testado foi o *Octaga Exporter*, que durante a exportação já apresentou um problema. Durante o processo de exportação, ele emite um aviso dizendo que a cada 10 polígonos triangulares exportados, um é removido do arquivo exportado na versão gratuita, conforme Figura 35.

Com esta limitação do *plug-in*, o arquivo exportado fica com buracos na geometria por toda a parte, tornando a utilização deste plug-in inviável nesta pesquisa. Outra limitação deste plug-in é que não é possível configurar o formato em que o arquivo exportado é salvo. Ele sempre exporta o arquivo comprimido com a extensão X3DVZ, e codifica o AV na sintaxe clássica sem permitir que o usuário opte pela codificação em XML.

O arquivo exportado foi testado no *Octaga Player*, um browser desenvolvido pela mesma empresa que criou o plug-in, e que também possui limitações na versão gratuita. A Figura 36 demonstra o AV exportado sendo visualizado no *Octaga Player*.

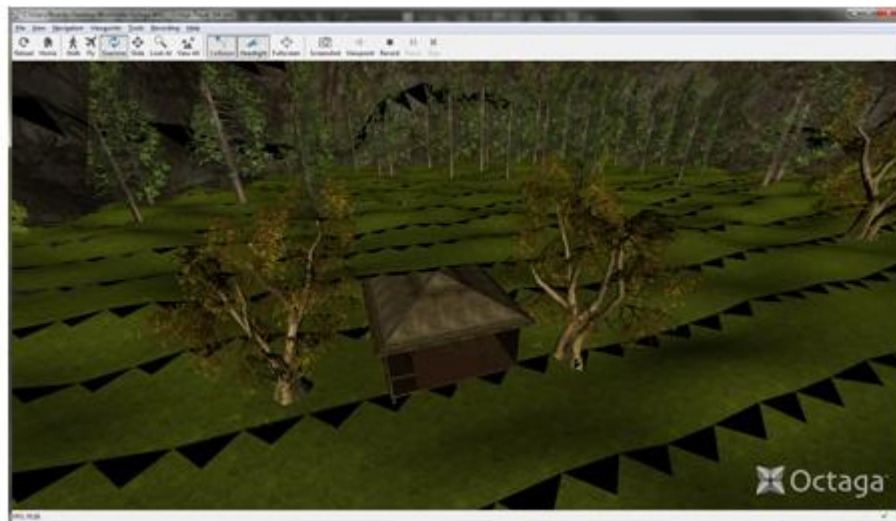


Figura 36. Visualização do AV no *Octaga Player*.

Pode-se observar que o *Octaga Exporter* foi capaz de representar o AV modelado no *3ds Max* adequadamente em X3D, respeitando todas as suas características, como o mapa de transparência das texturas. Mas devido à necessidade de se utilizar a versão paga do *plug-in* e do browser da *Octaga* para ter acesso a todas as funcionalidades, optou-se

pela utilização de ferramentas de código aberto ou que possuem versões gratuitas para uso não comercial.

Pesquisando em uma base de dados online de plug-ins para o *3ds Max* (maxplugins.de), foi encontrado um único plug-in compatível com a versão de 64-bits, chamado de *InstantExport* e desenvolvido pelo instituto de pesquisa alemão *Fraunhofer IGD*. A versão disponível era a 0.4 Beta 13784.

O *InstantExport* foi instalado e o teste de exportação foi feito. O arquivo gerado foi então analisado em um editor de textos, e verificou-se que a exportação foi feita com sucesso e que este plug-in gerava o arquivo codificado em XML.

Para o teste do AV, foi necessária a utilização de um software de visualização. Optou-se novamente por opções gratuitas, recomendadas na página do órgão responsável pelo desenvolvimento da especificação do X3D, o *Web3D Consortium*. Dentre as várias opções de softwares de visualização, optou-se primeiramente pelo *Instant Player*, desenvolvido pelo *Fraunhofer IGD*, que também desenvolveu o plug-in utilizado para exportar o AV.

A primeira tentativa de visualizar o AV no *Instant Player* resultou em um erro. O *software* permitia a visualização de um console, onde os detalhes do erro eram exibidos, conforme Figura 37.

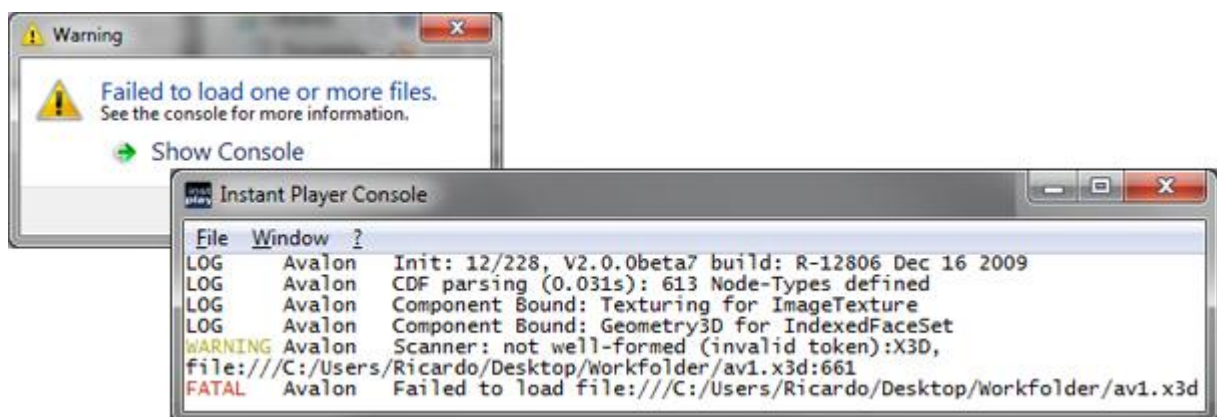


Figura 37. Erro na visualização do AV no *Instant Player*.

O erro era indicado na linha 661 do arquivo exportado pelo *InstantExport*. Abrindo-se este arquivo no *X3D-Edit*, foi possível observar a linha que continha o erro, de acordo com a Figura 38.

```
01 <Transform DEF='Chão Interior' translation='-10.555 -34.083 -12.493'>
```

Figura 38. Linha onde o Instant Player indicava a existência de um erro.

A linha mostrada estava sintaticamente correta, e não foi possível identificar nenhum tipo de erro nela. Por meio de tentativa e erro, descobriu-se que o *Instant Player* não suportava acentuação no atributo *DEF* da *tag* mostrada. Após a remoção do acento da palavra Chão, foi feita uma nova tentativa de visualizar o arquivo no *Instant Player*, que resultou em erro novamente, só que desta vez em outra linha. Utilizando a ferramenta *Replace* do *X3D-Edit*, toda a acentuação foi removida do arquivo, e uma nova tentativa foi realizada.

Desta vez, o *Instant Player* foi capaz de carregar o AV, porém vários problemas foram observados, conforme Figura 39.



Figura 39. Problemas na visualização com o *Instant Player*.

- a) o mapeamento de texturas não foi interpretado corretamente devido às deformações observadas no solo, nas montanhas ao fundo e nas árvores;

- b) as texturas que continham transparência não foram exibidas corretamente e ficaram completamente opacas;
- c) algumas texturas mapeadas em primitivas simples, como as árvores de fundo, também não foram exibidas.

Pode-se levantar um ponto interessante baseado nesse resultado, que é o fato de o *software* de visualização desenvolvido pela mesma instituição que desenvolveu o *plug-in* de exportação não ser capaz de exibir corretamente o arquivo exportado.

Devido a esse problema com o *Instant Player*, outro *software* de visualização disponível em uma lista da página oficial do *Web3D Consortium* foi testado. O *FreeWRL* é um visualizador de código aberto desenvolvido por colaboradores e mantido por John Stewart do *Communications Research Centre Canada* (CRC Canada), Centro de Pesquisa em Comunicações do Canadá, e foi um dos primeiros projetos patrocinados pelo governo federal do Canadá. Ele foi originalmente desenvolvido para Linux e Mac OS X, e mais tarde portado para Windows.

A primeira tentativa de visualizar o AV no *FreeWRL* resultou em um *crash* do programa, conforme ilustra a Figura 40. O console, mostrado ao fundo, não exibiu nenhuma mensagem que ajudasse a diagnosticar a causa do erro, dificultando qualquer tentativa de utilizar o software.

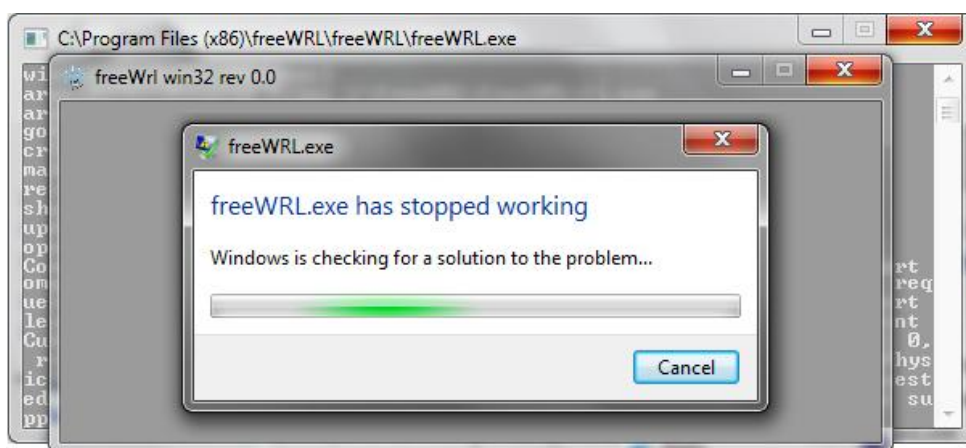


Figura 40. Tentativa de utilização do *FreeWRL* para visualizar o AV.

Voltando à lista de softwares de visualização disponível na página do *Web3D Consortium*, o próximo testado foi o *SwirlX3D*, desenvolvido pela *Pinecoast Software*, gratuito para uso não comercial.

O *SwirlX3D* foi capaz de carregar o AV modelado, conforme ilustra a Figura 41. Pode-se observar que, a princípio, o único problema encontrado foi a ausência de transparência nas árvores e no restante da vegetação.



Figura 41. Visualização do AV modelado no SwirlX3D.

Para solucionar o problema da ausência de transparência das texturas, foi pensado em primeiramente compreender como o arquivo exportado pelo *Octaga Exporter* conseguia aplicar corretamente os mapas de transparência. O *Octaga Exporter* gera um arquivo com extensão X3DVZ, que é um arquivo compactado que pode ser aberto pelo *WinRAR*. Dentro dele, encontra-se o arquivo de texto contendo o conteúdo do AV modelado.

A Figura 42 ilustra parte do código-fonte deste arquivo, onde um nó *MultiTexture* (linha 1) é utilizado para que se declare dois nós *ImageTexture* (linhas 3 e 4). O primeiro representa a textura do objeto e o segundo o mapa de transparência, que tem a propriedade

format definida como *ALPHA* (linha 7). Por fim, é definido o modo como as texturas devem ser combinadas (linha 12). A codificação mostrada é da sintaxe clássica suportada pelo X3D.

```

01 texture MultiTexture {
02   texture [
03     ImageTexture { url "../Texture/Na_L_yaupon_04d_01.png" }
04     ImageTexture {
05       url "../Texture/Na_L_yaupon_04d_01_alpha.png"
06       textureProperties TextureProperties {
07         format "ALPHA"
08         generateMipMaps TRUE
09       }
10     }
11   ]
12   mode ["MODULATE", "BLENDTEXTUREALPHA"]
13   source ["WHITE", ""]
14 }

```

Figura 42. Parte do código-fonte do arquivo gerado pelo *Octaga Exporter*.

O método utilizado no arquivo gerado pelo *Octaga Exporter* poderia ser convertido para a codificação em XML utilizada no arquivo gerado pelo *InstantExport*, de forma que o mesmo efeito fosse obtido.

Antes de experimentar esta solução, foi feito um teste explorando o recurso de transparência disponível no formato de imagem *Portable Network Graphics* (PNG). O mapa de transparência foi aplicado à sua respectiva textura com o auxílio do *Photoshop*, gerando uma nova imagem PNG com transparência. Esta imagem substituiu a original na pasta de texturas, o resultado pode ser visto na Figura 43.

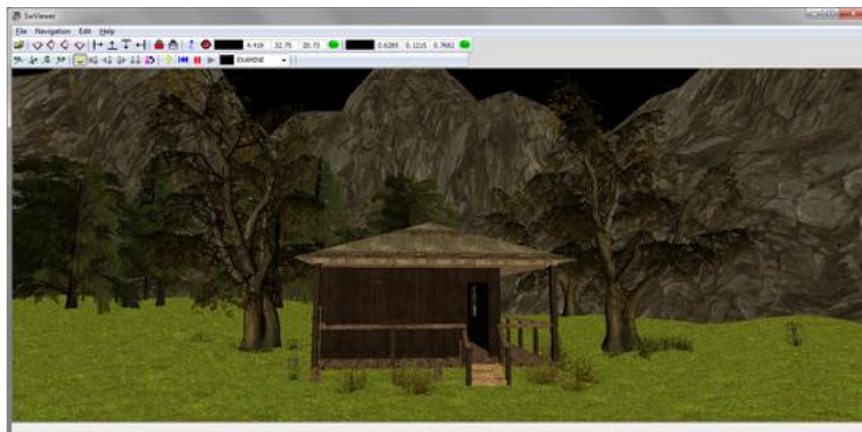


Figura 43. Texturas com transparência corrigida no *SwirlX3D*.

A alteração foi bem sucedida, e contribuiu para uma redução na quantidade de dados que o usuário deve transferir pela internet para ter acesso ao AV, visto que uma única textura com transparência ocupa menos espaço que as duas texturas utilizadas durante o processo de modelagem.

Com o AV sendo visualizado corretamente em um software de visualização capaz de interpretar o que foi exportado pelo *InstantExport*, foi possível dar início a adição de mais recursos ao protótipo.

As primeiras características incorporadas são referentes ao nó *NavigationInfo*, que determina características básicas de como a navegação pelo AV deve ser gerenciada. A Figura 44 ilustra a definição do nó no código-fonte do AV.

```

01 <NavigationInfo
02   headlight='false'
03   type='"WALK" "LOOKAT" "EXAMINE"'
04   avatarSize="0.40 6.0 4.5"
05   speed="50.0"
06 />

```

Figura 44. Nó *NavigationInfo* com as configurações de navegação do AV.

Na linha 2, o atributo *headlight*, que é uma luz direcional que fica sempre apontada para a direção em que o usuário está olhando, é desabilitado para que a luz definida durante a modelagem do AV seja utilizada para iluminar o AV. Os tipos de navegação permitidos (linha 3) são definidos, sendo *WALK* o modo inicial, por estar definido antes dos demais.

O modo de navegação *WALK* permite que o usuário caminhe pelo cenário de forma realística, colidindo com o chão e com os objetos do AV. O modo *LOOKAT* permite que uma parte do AV seja visualizada de forma rápida, levando a câmera virtual até o local desejado sem muito esforço. O modo *EXAMINE*, por sua vez, permite que a câmera virtual seja girada ao redor do AV, de modo se possa visualizá-lo de qualquer ângulo desejado.

A linha 4 define o avatar utilizado no modo *WALK* em três medidas, de acordo com a Figura 45. A primeira medida representa a distância em que a câmera colide com os objetos do AV, que tem como valor padrão 0.25m. A segunda medida representa a posição da câmera a partir do chão, que é começa na parte de baixo do avatar, e tem como valor padrão 1.6m. A terceira e última medida representa a altura máxima permitida para que o avatar passe por cima sem colidir, e tem como valor padrão 0.75m.

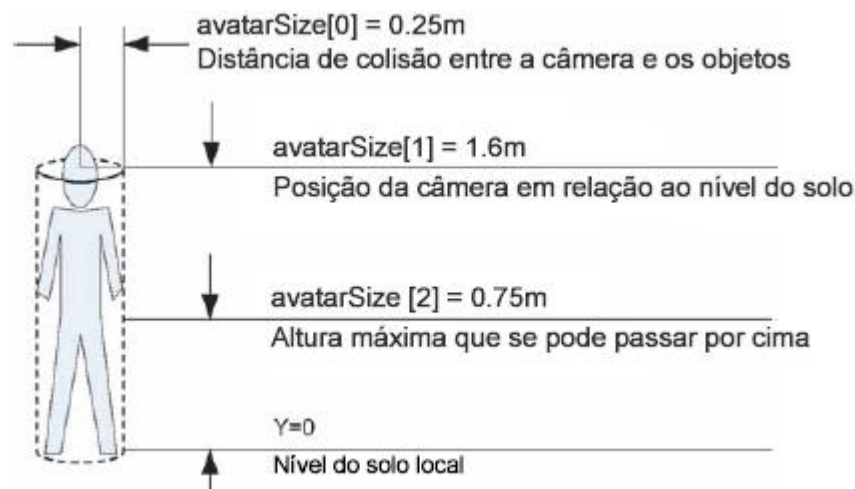


Figura 45. Explicação do atributo *avatarSize* do nó *NavigationInfo*.
Fonte: Adaptado de BRUTZMAN, D.; DALY, L. (2001, p. 110).

O último atributo do nó *NavigationInfo*, definido na linha 4 da Figura 44, determina a velocidade com que o usuário navega pelo AV. O valor padrão é 1.0, que é muito lento para o AV modelado. Esse valor foi aumentado para 50, mas o *SwirlX3D* parece não levar em consideração este valor, pois não foi notada nenhuma diferença na velocidade de navegação depois da alteração.

A câmera criada na seção 6.2.1.5 foi utilizada como o ponto em que o usuário é posicionado assim que o AV é carregado, e é por onde a navegação é iniciada. Quando exportada para o formato X3D, ela é representada por meio de um nó *Viewpoint*, conforme ilustra a Figura 46. O atributo *orientation* (linha 4) representa a direção para onde a câmera virtual está direcionada e o atributo *position* (linha 5) representa a posição da câmera no AV.

Os atributos $zNear$, $zFar$ e $fieldOfView$ (linhas 6, 7 e 8) determinam as propriedades do *viewing frustum*, que é uma estrutura em forma de pirâmide que caracteriza um câmera virtual. Por fim, o atributo $jump$ indica que a transição para este *Viewpoint* é imediata, sem a animação da câmera até a posição correta.

```

01 <Viewpoint
02   DEF='VpInicio'
03   description='Ponto inicial'
04   orientation='-0.003 1.000 -0.004 -1.948'
05   position='-137.723 19.979 96.277'
06   zNear='1.000'
07   zFar='1000.000'
08   fieldOfView='0.785'
09   jump='TRUE'
10 />

```

Figura 46. Nó *Viewpoint* gerado a partir de uma câmera definida no *3ds Max*.

Testando os nós definidos até o momento no *SwirlX3D*, foi observado que tanto o $avatarSize$ definido no nó *NavigationInfo* foi aplicado corretamente e que o usuário inicia no modo de navegação *WALK*, posicionado de acordo com o *Viewpoint* definido como ponto inicial da exploração.

A ausência da *headlight* trouxe, no entanto, um novo problema: a maior parte dos objetos do AV ficaram completamente escuros, como se não tivesse cor ou textura (Figura 47). Verificando o código-fonte foi possível comprovar que a *Point Light* definida na seção 6.2.1.5 foi exportada corretamente



Figura 47. Problema com a iluminação do AV a partir da *Point Light* definida.

Para tentar resolver o problema, a luz foi trocada para *Directional Light* e *Spot Light*, mudada de posição e mudada de lugar no *scene graph* do AV, mas o resultado foi o mesmo em todas as tentativas, indicando que o *SwirlX3D* não oferece suporte completo aos nós de iluminação da especificação do X3D.

A solução foi voltar ao nó *NavigationInfo* e ativar a *headlight* para que os objetos voltassem a serem visualizados corretamente. A seguir, foi iniciada a elaboração do *skybox* que representa o céu do AV. A especificação do X3D disponibiliza um nó que a partir das cinco imagens necessárias gera automaticamente o *skybox*, de acordo com a Figura 48.

```

01 <Background
02   backUrl="Textures/back.jpg"
03   bottomUrl="Textures/bottom.jpg"
04   frontUrl="Textures/front.jpg"
05   leftUrl="Textures/left.jpg"
06   rightUrl="Textures/right.jpg"
07   topUrl="Textures/top.jpg"
08 />

```

Figura 48. Nó Background utilizado para criar um *skybox*.

Após carregar o AV no *SwirlX3D*, foi observado que ele não suporta corretamente este nó, pois o céu passou de preto para um tom de cinza, sem exibir qualquer parte do *skybox* definido, conforme ilustra a Figura 49.

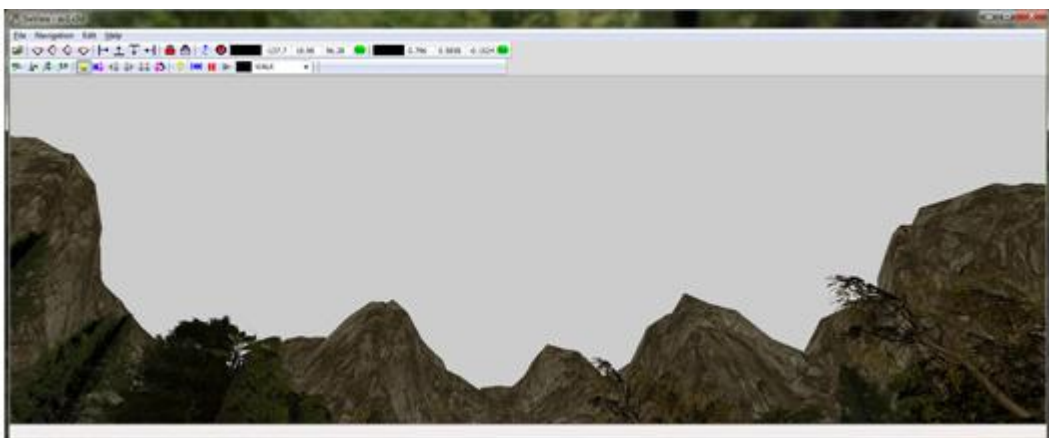


Figura 49. Ausência de suporte a geração de *skybox* por parte do *SwirlX3D*.

A próxima etapa da implementação visava implantar recursos de interação e efeitos sonoros no AV, mas novos problemas foram encontrados.

Por meio de testes realizados utilizando exemplos de aplicações de nós de interação e de efeitos sonoros que acompanham o livro *X3D: Extensible 3D Graphics for Web Authors*, foi observado que o *SwirlX3D* não suporta tais nós na versão utilizada nesta pesquisa. Ele é capaz de reconhecer objetos com o qual se pode interagir, mas não implementa qualquer tipo resposta a ativação de tais objetos.

Quanto ao processamento de nós referentes a efeitos sonoros, o *SwirlX3D* se mostrou bastante instável, não sendo capaz reproduzir os sons ou exibindo uma tela de erro como a ilustrada pela Figura 50.

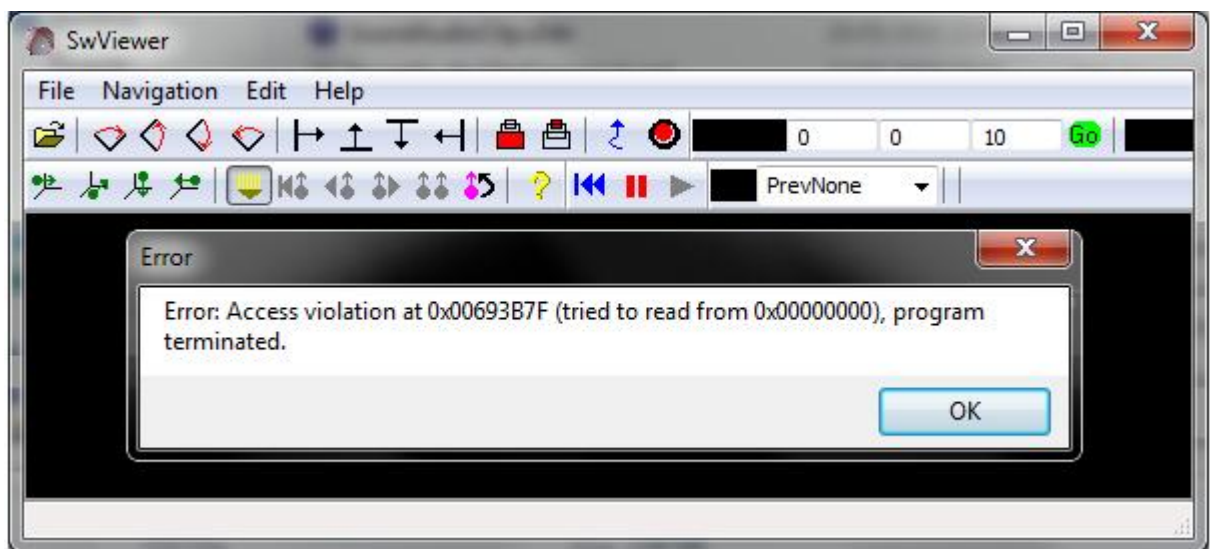


Figura 50. Erro exibido pelo *SwirlX3D* ao tentar reproduzir um nó de áudio.

Sem o suporte aos nós de interação do X3D, tornou-se impossível mapear um sistema de navegação confortável para o usuário, que fica limitado à navegação padrão do *SwirlX3D*, feita inteiramente pelo mouse.

A fim de determinar o suporte dos outros softwares testados no início da implementação aos recursos não suportados pelo *SwirlX3D*, foram feitos alguns testes com os

exemplos que acompanham o livro *X3D: Extensible 3D Graphics for Web Authors*, com os seguintes resultados:

- a) interação – tanto o *FreeWRL* como o *Instant Player* oferecem suporte satisfatório aos nós de interação da especificação do X3D e são capazes de processar nós de *scripting* adequadamente;
- b) *skybox* – ambos suportam completamente o nó *Background*, gerando o *skybox* corretamente de acordo com os atributos especificados;
- c) áudio – o *FreeWRL* se mostrou instável na presença de nós de áudio, e o *Instant Player* foi capaz de reproduzir áudio em apenas alguns exemplos;
- d) iluminação – ambos suportam corretamente os nós de iluminação definidos na especificação.

6.3 RESULTADOS OBTIDOS

Os resultados obtidos por esta pesquisa foram resultado de um trabalho de pesquisa teórica e aplicação prática da apropriação de conhecimentos, onde foi possível aplicar tecnologias de realidade virtual em uma implementação real a fim de avaliar o grau de imersão obtido.

Com base nas dificuldades encontradas durante o processo de implementação do protótipo, a tecnologia X3D provou ainda não ter atingido o estado de maturidade³ necessário para uso mais amplo, ficando restrita a institutos e pesquisa e instituições que tem acesso às ferramentas comerciais.

A especificação do X3D foi desenvolvida para atender a todas as necessidades da criação de conteúdo 3D interativo na Web, e define nós e componentes que permitem sua

³ Para mais detalhes sobre níveis de maturidade em desenvolvimento de software, consultar Kan (2003).

utilização em inúmeras aplicações. Porém, o desenvolvimento de softwares e ferramentas que cumpram com essa especificação e as disponibilizem ao desenvolvedor fica a cargo de terceiros, e pode-se observar que as ferramentas mais completas e que implementam a maior parte da especificação são comerciais e ficam sujeitas a compra de uma licença por parte do usuário.

Observou-se também que as ferramentas com licença de uso livre mostraram-se ainda imaturas no que diz respeito à implementação correta da especificação do X3D, e que os *softwares* de visualização ainda tem muito o que melhorar no que diz respeito a estabilidade, já que alguns apresentaram falhas críticas em algumas situações. A utilização em pequena escala e o interesse limitado por parte de empresas e órgãos influentes no que diz respeito à tecnologia X3D pode explicar o estágio em que se encontram as ferramentas de uso livre testadas e suas limitações.

Um fator que impossibilitou a implementação de características importantes para a obtenção de um nível maior de imersão foi a discrepância apresentada nos softwares de visualização com relação à interpretação do arquivo X3D gerado a partir de uma ambiente modelado no 3ds Max e exportado por meio de um *plug-in*. O primeiro visualizador testado (*Instant Player*) não foi capaz de interpretar corretamente o mapeamento de texturas; o segundo visualizador (*FreeWRL*) não foi nem capaz de carregar o arquivo e o último visualizador testado (*SwirlX3D*) carregou o AV corretamente, mas não dá suporte a recursos de interação e reprodução de áudio, recursos que os visualizadores que não foram capazes de carregar o AV corretamente suportam.

Foi possível, no entanto, obter um certo grau de imersão por meio da utilização de uma câmera em primeira pessoa que dá ao usuário a habilidade de movimentar-se livremente pelo ambiente, vendo tudo através dos olhos do observador virtual. A incorporação de outras características imersivas, como o suporte a interação e estímulos auditivos depende ainda da

evolução dos softwares de visualização no que diz respeito ao suporte às características da especificação do X3D.

A especificação o X3D permite ainda, que no futuro, aplicações desenvolvidas hoje façam uso de dispositivos imersivos como interfaces hápticas e capacetes de imersão sem a necessidade de alteração das mesmas uma vez que o X3D dispõe de nós de interação capazes de processarem entradas de forma independente do dispositivo utilizado.

O processo de modelagem do ambiente virtual realizado nesta pesquisa foi semelhante ao realizado no TCC de Messias José Amador do Nascimento, intitulado “Modelagem de Ambientes Virtuais para Jogos Eletrônicos”, onde diversas das técnicas empregadas nesta pesquisa também foram utilizadas.

A imersão, que é um dos temas de estudo desta pesquisa, foi também abordada e bastante aprofundada por Roberto Macdonald, em seu TCC intitulado “Da imersão à emoção: a presença em jogos digitais”, onde vários dos conceitos levantados por ele também se aplicam a imersão em um ambiente de RV.

Porém, este trabalho se diferencia de outros disponíveis no que diz respeito à utilização da tecnologia X3D e na utilização das ferramentas disponíveis gratuitamente que permitiram desenvolver, com dificuldades, um protótipo de visualização e exploração de ambientes com a aplicação de técnicas de RV e com foco na imersão.

7 CONCLUSÃO

Visando caracterizar o processo de imersão e avaliar técnicas de realidade virtual voltadas para o ambiente da Web, esta pesquisa apresentou a modelagem de um ambiente virtual e o desenvolvimento de um protótipo que permitiu a exploração do ambiente modelado. Foi feito um estudo sobre as características da imersão e a importância de técnicas de realidade virtual, bem como tecnologias para utilização na Web. Técnicas de modelagem e representação de ambientes virtuais também foram estudadas, proporcionando fundamentação adequada para a realização da pesquisa.

Finalizada a modelagem e a implementação do estudo de caso desta pesquisa, obtiveram-se resultados que permitem a apresentação de um conjunto de conclusões, bem como a apresentação das dificuldades encontradas e sugestões de trabalhos futuros.

Com relação à caracterização do processo de imersão em ambientes virtuais, por meio do levantamento bibliográfico foi possível identificar as principais características da imersão como sendo o sentimento que o usuário tem de fazer parte de um ambiente virtual, e que é possível alcançá-la empregando técnicas de RV específicas. Os resultados obtidos demonstram que um certo grau de imersão pode ser obtido mesmo com a disponibilidade de poucos recursos e com a imposição de várias limitações tecnológicas.

No que tange à avaliação de técnicas de realidade virtual com foco na imersão, foi possível constatar, por meio do levantamento bibliográfico e da aplicação destes conceitos na implementação do protótipo desenvolvido na presente pesquisa, que técnicas simples associadas a realidade virtual contribuem de forma substancial para a qualidade da imersão propiciada ao usuário.

A realização de um estudo de caso de realidade virtual baseada na imersão em um ambiente virtual Web foi possível por meio da definição de um contexto apropriado para o

estudo de caso e o emprego de técnicas e tecnologias de realidade virtual que podem ser acessadas por meio da Web em computadores pessoais com poucos recursos. Os resultados obtidos permitem concluir que a especificação do X3D é bastante flexível no que diz respeito a disponibilidade de equipamentos de RV, permitindo que o usuário tenha acesso a uma aplicação de RV tendo disponível apenas os dispositivos mais básicos e acessíveis.

No que diz respeito à modelagem de um ambiente virtual Web, objeto de estudo da presente monografia, constatou-se que a utilização de técnicas de modelagem e ferramentas especializadas permitem a criação de ambientes ricos em detalhes, e que por meio de ferramentas e tecnologias Web elaboradas por órgãos especializados como o *Web3D Consortium*, é possível disponibilizar tais ambientes para acesso online via softwares de visualização específicos.

Os resultados obtidos para a modelagem de ambientes permitem concluir que empregando as técnicas apropriadas e utilizando as ferramentas certas, é possível modelar quaisquer tipos de ambientes virtuais e representá-los em quaisquer formatos desejados, desde que as ferramentas existam.

O desenvolvimento de um protótipo para visualização e exploração imersiva de um ambiente virtual Web com uso de técnicas de realidade virtual foi possível, em parte, por meio da utilização de ferramentas gratuitas para uso não comercial, que deixam a desejar em alguns aspectos, mas que tornaram possível o desenvolvimento do protótipo.

Muitas dificuldades foram encontradas durante este processo, principalmente no que diz respeito à disponibilidade de recursos importantes da especificação do X3D em softwares de visualização de uso gratuito, bem como na conformância destes com a especificação.

Por meio dos resultados obtidos, foi possível concluir que muito trabalho ainda precisa ser feito por parte dos responsáveis por estas ferramentas, e o que esteve disponível

para uso gratuito durante a elaboração desta pesquisa se mostrou ainda imaturo para o desenvolvimento de uma aplicação séria e que ofereça ao usuário uma experiência completa. Este fator pode ser explicado pelo alcance limitado que a tecnologia X3D ainda tem, visto que não é utilizada em larga escala por nenhum *software* popular, embora discute-se a possibilidade de integração junto a especificação do HTML 5, que ainda não foi finalizada durante a elaboração desta pesquisa.

A partir desta pesquisa, pode-se dar continuidade ao estudo da imersão na visualização e exploração de ambientes virtuais com uso de realidade virtual na Web por meio de algumas sugestões de trabalhos futuros:

- a) utilizar outras ferramentas de modelagem para avaliar as ferramentas disponíveis para exportação e o comportamento dos softwares de visualização;
- b) fazer uma análise de todos os softwares de visualização no que diz respeito aos recursos que cada um suporta;
- c) desenvolver um software de visualização com base em um projeto de código aberto que aprimore o suporte a algumas características importantes da especificação.

REFERÊNCIAS

BAINBRIDGE, William S. **Berkshire encyclopedia of human-computer interaction**. Great Barrington: Berkshire Publishing Group, 2004.

BARTELS, Richard H.; BEATTY, John C.; BARSKY, Brian A. **An introduction to splines for use in computer graphics and geometric modeling**. Los Altos, CA: Morgan Kaufmann Publishers, 1987.

BEGAULT, D. R. **3-D sound for virtual reality and multimedia**. Cambridge: Academic Press, 1994.

BLENDER Foundation. Features. Disponível em: <<http://www.blender.org/features-gallery/features/>> Acesso em: 12 jun. 2010.

BRUTZMAN, Don; DALY, Leonard. **X3D: extensible 3D graphics for web authors**. San Francisco: Morgan Kaufmann, 2007.

BURDEA, Grigore C.; COIFFET, Philippe. **Virtual Reality Technology**. 2nd ed. Hoboken: Wiley-Interscience, 2003.

CADAUNO 3D modeling with NURBS surfaces. CADAuno at a glance. Disponível em: <<http://cadauno.sourceforge.net/features.php>> Acesso em: 13 ago. 2010.

CADOZ, Claude. **Realidade virtual**. São Paulo: Ática, 1997.

CARDOSO, Alexandre. **Ambientes virtuais: projeto e implementação**. Porto Alegre: SBC, 2003.

CLINTON, Yancey. **Game character Modeling and Animation with 3ds Max**. Burlington, MA: Elsevier, 2008.

CRUZ-NEIRA, C. et al. The CAVE audiovisual experience automatic virtual environment. **Communication of the ACM**, v. 35 n. 6, p. 64-72, 1992.

ELECTRONIC Visualization Laboratory. The CAVE Virtual Reality System. Disponível em: <<http://www.evl.uic.edu/pape/CAVE/>> Acesso em: 18 mar. 2010.

FERNÁNDEZ, Manuel Eduardo Loaiza. **Implementação de um Dispositivo de Rastreamento Óptico com 6 Graus de Liberdade para Interação com Aplicações de Realidade Virtual**. 2005. 101 f. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Informática, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

GEROIMENKO, Vladimir; CHEN, Chaomei. **Visualizing information using SVG and X3D: XML-based technologies for the xml-based web**. London: Springer, 2005.

GRADECKI, Joseph D. **The virtual reality construction kit**. New York: John Wiley & Sons, 1994.

GUTIÉRREZ, Mario A.; VEXO, Frédéric; THALMANN, Daniel. **Stepping into virtual reality**. London: Springer, 2008.

HAQUE Design + Research. Scents of Space. Disponível em:
<<http://www.haque.co.uk/scentsofspace.php>> Acesso em: 3 jun. 2010.

HILLIS, Ken. **Sensações digitais: espaço, identidade e corporificações na realidade virtual**. São Leopoldo: UNISINOS, 2004.

HOLMES3D. A Quick Introduction to Subdivision Surfaces. Disponível em:
<<http://www.holmes3d.net/graphics/subdivision/>> Acesso em: 25 jun. 2010.

HUMAN Productivity Lab. TelePresence defined by Brent Houlahan with HSL's thoughts and analysis. Disponível em:
<http://www.humanproductivitylab.com/archive_blogs/2006/09/18/telepresence_defined_by_brent.php> Acesso em: 6 jun. 2010.

KAN, Stephen H. **Metrics and models in software quality engineering**. 2nd ed. Boston, MA: Addison-Wesley, 2003.

KO, Chi Chung; CHENG, Chang Dong. **Interactive web-based virtual reality with java 3d**. New York: IGI Globals, 2009.

KRUEGER, Myron W. **Artificial Reality II**. 2nd ed. Reading, MA: Addison-Wesley, 1991.

KIRNER, Claudio; SISCOOTTO, Robson. **Realidade virtual e aumentada: conceitos, projeto e aplicações**. Petrópolis: Sociedade Brasileira de Computação, 2007.

INFO Online. Second Life fecha as portas no Brasil. Disponível em: <<http://info.abril.com.br/professional/redes-sociais/second-life-fecha-as-portas-no-brasil.shtml>> Acesso em: 7 dez. 2010.

INSKO, Brent Edward. **Passive haptics significantly enhances virtual environments**. 101 f. Dissertação (Doutorado em Ciências da Computação) - University of North Carolina, Chapel Hill. 2001.

LACOURSE, Donald. **Handbook of solid modeling**. Texas: McGraw-Hill, 1995.

LARSSON, Pontus; VÄSTFJÄLL, Daniel; KLEINER, Mendel. Better presence and performance in virtual environments by improved binaural sound rendering. In: AES International Conference on Virtual, Synthetic, and Entertainment Audio, 22., 2002, Espoo. **Proceedings...** [S.l]: [s.n.], 2002, p. 31-38

MACDONALD, Roberto. **Da imersão à emoção: a presença em jogos digitais**. 42 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Psicologia) - Universidade do Vale do Itajaí, Biguaçu. 2006.

MACHADO, L. S. **Conceitos básicos da realidade virtual**. 1995. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos. Relatório Técnico, INPE-5975-PUD/025.

MENEGUETTE, Lucas C. **Realidade virtual e experiência do espaço: imersão, fenomenologia, tecnologia**. 118 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologias da Inteligência e Design Digital) - Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, São Paulo. 2010.

MICHAEL, George A. et al. Ambient odors modulate visual attentional capture. **Neuroscience Letters**, Ireland, v. 352, n. 3, p. 221-225, dez. 2003.

MORIE, Jacquelyn Ford. Inspiring the future: merging mass communication, art, entertainment and virtual environment. **Computer Graphics**, [S.l], v. 28, n. 2, p. 135-138, maio 1994.

NAEF, Martin; STAADT, Oliver; GROSS, Markus. Spatialized audio rendering for immersive virtual environments. In: ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology '02, 2002, Hong Kong. **Proceedings...** New York: ACM Press, 2002, p. 65-72.

NASCIMENTO, Messias José Amador do. **Modelagem de ambientes virtuais para jogos eletrônicos**. 48 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia da Computação) - Universidade Federal do Pará. 2008.

PIMENTEL, K. TEIXEIRA, K. **Virtual Reality: through the new looking glass**. 2nd ed. New York: McGraw Hill, 1995.

PINHEIRO, Cássio D. B. **Sistemas de realidade virtual para suporte ao ensino em redes de computadores**. 85 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal do Pará, Santarém. 2005.

PRADO, Gilbertto. Desertesejo: um projeto de ambiente virtual de multiusuário na Web. In: Brazilian Symposium on Computer Graphics and Image Processing, 13., 2000, Gramado. **Proceedings...** Caxias do Sul: Lorigraf, 2000.

RATNER, Peter. **3-D human modeling and animation**. 2nd ed. New Jersey: Wiley, 2003.

SADOWSKY, W.; STANNEY, K. **Handbook of virtual environments**. Mahwah, NJ: Lawrence Earlbaum Associates, 2002.

SLATER, M.; WILBUR, S. A framework for immersive virtual environments (FIVE): speculations on the role of presence in virtual environments. **Presence: Teleoperators and Virtual Environments**, v. 6, p. 603-616, 1997.

SUTCLIFFE, Alistair. **Multimedia and virtual reality: designing multisensory user interfaces**. Mahwah: Lawrence Erlbaum Associates, 2003.

SUTHERLAND, Ivan. **The Ultimate Display**. In: IFIP Congress, 1965. Proceedings. 1965, p. 506-508

TORI, Romero; KIRNER, Cláudio; SISCOOTTO, Robson. **Fundamentos e tecnologia de realidade virtual e aumentada**. Porto Alegre: SBC, 2006.

VAN VERTH, James M.; BISHOP, Lars M. **Essential mathematics for games and interactive applications: a programmer's guide**. San Francisco, CA: Elsevier, 2004.

VINCE, John. **Virtual reality systems**. New York: Addison Wesley, 1995.

WEB3D Consortium. X3D Frequently Asked Questions. Disponível em:
<<http://www.web3d.org/about/faq/>> Acesso em: 15 maio 2010.

_____. What is X3D?. Disponível em:
<<http://www.web3d.org/about/overview/>> Acesso em: 15 maio 2010.

WITMER, Bob G.; SINGER, Michael J. Measuring presence in virtual environments: a presence questionnaire. **Presence: Teleoperators and Virtual Environments**, v. 7, n. 3, p. 225-240, jun. 1998.

YANAGIDA et al. Projection-based olfactory display with nose tracking. In: IEEE Virtual Reality Conference 2004, Chicago. **Proceedings...** Washington: IEEE Computer Society, 2004, p. 43-50.

ZDNET. Texture map. Disponível em: <<http://www.zdnet.com/topics/texture+map>> Acesso em: 17 ago. 2010.

APÊNDICE A – ARTIGO CIENTÍFICO

A Imersão na Visualização e na Exploração de Ambientes com uso de Realidade Virtual na Web

Abstract. *Virtual Reality is an advanced user interface which moved towards the dynamic environment provided by the World Wide Web, thanks to its recent evolution and the various technologies brought into it along the years. The challenge is to provide immersion, which is the main feature of virtual reality, using only accessible devices. This article features the modeling and implementation of a navigable virtual environment accessible through the internet, whereby it was possible to evaluate the degree of immersion obtained and check out the current state of softwares and tools used to conceive it.*

Keywords: *Virtual Reality, Virtual Environments, X3D, 3D Modeling*

Resumo. *A Realidade Virtual é uma interface avançada com o usuário que têm se expandido para o ambiente dinâmico da Web devido a sua recente evolução e das diversas tecnologias que têm sido desenvolvidas para ela. O desafio é proporcionar a principal característica da realidade virtual, a imersão, com a utilização de dispositivos acessíveis. Apresenta-se a modelagem e a implementação de um ambiente virtual navegável e acessível através da Web, pelo qual foi possível avaliar o nível de imersão alcançado e determinar o estágio atual das ferramentas que permitem tal concepção.*

Palavras-chave: *Realidade Virtual, Ambientes Virtuais, X3D, Modelagem 3D*

1. Introdução

Realidade Virtual (RV) é uma tecnologia que permite que um usuário interaja com um ambiente simulado por computador. Sua principal característica, a imersão, pode ser expressada pela sensação de presença, e tem como principal objetivo proporcionar sensações ao usuário. A qualidade destas sensações depende muito do nível de detalhes proporcionado pela simulação, e é ela que determina o quanto o usuário acredita estar interagindo com um ambiente real [Cardoso 2003 e Krueger 1991].

Além da imersão, a realidade virtual é constituída de interação, que é a capacidade do usuário interagir com os objetos do Ambiente Virtual (AV) de forma realística e natural; e o envolvimento, que é resultado da imersão e da interação, e constitui a motivação do usuário em usufruir do ambiente virtual [Hillis 2004].

A partir dessas características, o ambiente virtual é apresentado ao usuário de forma que ele tenha a impressão de que está dentro de um ambiente real. Para isso, o usuário geralmente precisa utilizar de dispositivos especiais, como luvas especiais e capacetes de imersão.

Apesar de apresentarem melhor qualidade de imersão, o acesso a esses dispositivos ainda é difícil e a relação custo/benefício não possibilita o acesso de um número maior de usuários, visto que estes dispositivos não são planejados para uso geral. Este fator acarreta em um custo elevado, confinando a sua utilização a laboratórios de pesquisa especializados que disponibilizam dos recursos financeiros necessários [Fernández 2005].

Este artigo propõe o estudo e a aplicação de técnicas de RV com foco na imersão em um protótipo para visualização e exploração de um ambiente virtual na Web com o uso de dispositivos de interação acessíveis.

2. Realidade Virtual

Desde o advento do computador na década de 40, a forma como se interage com ele tem evoluído constantemente. Esta interação passou rapidamente da manipulação direta da fiação em um painel para a utilização de mouses e teclados, e hoje em dia, para o uso *touchscreens* no dia-a-dia.

Essa busca por melhores formas de se interagir com o computador foi um dos fatores que motivaram as pesquisas em torno da RV. O termo foi criado na década de 80, e é definido como uma interface avançada com o usuário para a utilização de aplicações executadas no computador, permitindo a visualização, movimentação e interação do usuário, em tempo real, em ambientes tridimensionais gerados por computador [Kirner 2007].

2.1. Características

A experiência de RV é caracterizada por três ideias básicas: imersão, interação e envolvimento [Morie 1994].

Witmer e Singer (1998) definem a imersão como um estado psicológico caracterizado pela sensação de se estar envolvido por, incluso em, ou interagindo com um ambiente que oferece várias experiências que estimulam os sentidos de uma forma natural e coerente. Slater e Wilbur (1997) vão além, definindo imersão como a habilidade de um sistema de RV de gerar um ambiente envolvente, capaz de desconectar os sentidos do usuário e sua percepção do mundo real.

A interação pode ser caracterizada como a capacidade do computador detectar as ações do usuário e modificar o ambiente em tempo real, reagindo às modificações promovidas pelo usuário [Cardoso 2003].

O envolvimento é caracterizado pelo grau de motivação do usuário em realizar determinada atividade dentro do AV, e pode ser descrito de duas formas: passivo, quando se lê um livro ou se assiste televisão; e ativo, quando se participa de uma experiência dinâmica, como um jogo de videogame. [Cardoso 2003].

2.2. Tecnologias

Existem inúmeras tecnologias que permitem a criação e a execução de projetos de RV, dentre elas algumas voltadas para a Web.

A *Virtual Reality Modeling Language* (VRML) é uma tecnologia para a concepção de mundos virtuais que tem sido aplicada em diversos projetos e tem um papel importante no desenvolvimento de ambientes tridimensionais interativos para uso na Web. Nasceu da colaboração de diversos pesquisadores e importantes empresas e entidades interessadas no desenvolvimento da RV na Web [Cardoso 2003].

Dentre suas principais características, estão o desenvolvimento de mundos virtuais mais realísticos, prototipação, uso de sensores para a interação direta com o usuário, interpoladores e a criação de animações [Cardoso 2003; Ko e Cheng 2009].

O aspecto mais característico da VRML é a forma como os cenários tridimensionais são organizados em um grafo contendo os nós que, associados - em grupos ou isoladamente -

formam toda a simulação. Estes nós são bastante diversos, e podem conter primitivas geométricas, propriedades de aparência, sons, dentre outros recursos [Cardoso 2003].

Outra tecnologia importante é o X3D, padrão que surgiu a partir de uma revisão da especificação da VRML, e incorpora os avanços dos recursos disponíveis em dispositivos gráficos comerciais modernos e melhorias na sua arquitetura [Web3D 2010].

Sua especificação está em contínuo desenvolvimento pelo órgão mantenedor, e atualmente fornece recursos de gráficos 2D e 3D, animação, áudio e vídeo espacial, interação, navegação automatizada, *networking* e recursos de *scripting* [Web3D 2010].

A arquitetura do X3D é baseada em componentes, sendo cada componente um conjunto de funcionalidades semelhantes, que consistem de vários objetos X3D e/ou serviços. Essa arquitetura modular permite que as funcionalidades do X3D sejam distribuídas em vários níveis, e possam ser acessadas de acordo com os perfis disponíveis, que são organizados em uma hierarquia de forma que a cada nível têm-se mais funcionalidades que nos níveis anteriores.

3. Imersão em Ambientes Virtuais

Imersão está relacionada com a configuração física da interface da aplicação de RV, e pode ser classificado como totalmente imersivo, quando faz uso de um capacete de imersão para isolar o usuário do mundo real; semi-imersivo, quando utiliza salas com telas de projeção em todas as paredes; ou não-imersivos, quando utiliza monitores comuns utilizados em computadores pessoais [Hillis 2004].

Embora a realidade virtual com o uso de capacetes tenha evoluído e seja considerada típica, a realidade virtual com monitor apresenta ainda assim alguns pontos positivos como: utilizar plenamente todas as vantagens da evolução da indústria de computadores; evitar as limitações técnicas e problemas decorrentes do uso de capacete; e facilidade de uso.

Witmer e Singer (1998) sugerem que os fatores que influenciam no sentimento de imersão incluem: o isolamento do ambiente físico; o sentimento de fazer parte do ambiente; a sensação de estar interagindo naturalmente com seus elementos; e a habilidade de se movimentar dentro dele. Eles ainda acrescentam que ambientes virtuais que oferecem uma maior sensação de imersão também produzem uma maior sensação de presença, conceito associado com a condição psicológica do usuário.

4. Modelagem de Ambientes Virtuais

A modelagem de um ambiente virtual consiste na modelagem 3D dos objetos individuais que o compõem. Modelagem 3D é o processo de criação de uma representação matemática para um objeto ou superfície tridimensional através de softwares especializados. Desta forma pode-se definir suas características, como forma, aparência, comportamento, animações e restrições.

Esta representação pode ser obtida de várias formas, dentre as quais podemos citar a modelagem poligonal, a modelagem por curvas NURBS, e a modelagem por primitivas. Elas permitem modelar objetos inanimados ou seres vivos, sejam eles reais ou imaginários, que podem se utilizados em simulações de RV [Ratner 2003].

4.1. Modelagem Poligonal

É a técnica mais comum utilizada em jogos eletrônicos, pois permite um controle preciso dos polígonos individuais que compõem o objeto modelado. Geralmente a modelagem inicia com

uma primitiva básica que, através de ferramentas como *bevel* e *extrude*, dá-se forma e detalhes ao objeto [Clinton 2008].

Por meio dela, obtém-se uma representação aproximada da superfície e contornos do objeto modelado utilizando-se polígonos simples, como triângulos ou quadrados, que são compostos por pontos em um espaço 3D, chamados de vértices, conectados por segmentos de linha. Esta é a representação ideal para uso em simulações em tempo real, pois obtém-se modelos que são ao mesmo tempo realísticos e computacionalmente simples, permitindo que um computador moderno renderize-os com muita eficácia e rapidez [Ratner 2003].

Geralmente, o processo de modelagem poligonal é composto pelas etapas de criação de gabaritos, que são imagens bidimensionais utilizadas para guiar o artista 3D no processo de modelagem, visando manter a forma e proporção correta do modelo; a modelagem por meio da manipulação dos elementos da malha poligonal e do uso de ferramentas como *extrude* e *bevel*; e o mapeamento de textura, que consiste na atribuição de regiões de uma imagem 2D aos polígonos do objeto para dar mais realismo ao mesmo [Clinton 2008].

4.2. NURBS

A modelagem por meio de *Non-Uniform Rational B-Splines* (NURBS) é uma técnica que modela os objetos através de curvas e superfícies matemáticas, criando objetos com contornos suaves e realísticos. Através de pontos de controle que envolvem a superfície do objeto modelado, é possível deformá-lo de acordo com a forma que se deseja obter.

Embora seja uma técnica de modelagem bastante poderosa e flexível, utilizada em softwares de *Computer-Aided Design* (CAD) e em filmes e comerciais de animação, seu uso em aplicações que envolvem simulações em tempo real não é viável, devido ao custo computacional da técnica durante a renderização.

5. Protótipo para Visualização e Exploração Imersiva na Web

Foi desenvolvido um protótipo para visualização e exploração imersiva em um ambiente virtual Web com uso de técnicas de realidade virtual baseado na tecnologia X3D, onde o usuário pode navegar livremente por meio de um *software* de visualização independente.

Foram utilizadas várias ferramentas durante o processo de desenvolvimento do protótipo, sendo que: para modelagem 3D foi utilizada a ferramenta comercial *3ds Max 2010* desenvolvido pela *Autodesk*; para a edição de imagens e criação de texturas foi utilizado o software comercial de edição de imagens *Photoshop CS5* desenvolvido pela *Adobe Systems*; na implementação do protótipo foi utilizado o plug-in *InstantExport* desenvolvido pelo instituto de pesquisa *Fraunhofer IGD*; para a edição do arquivo X3D exportado foi utilizado a ferramenta de código aberto *X3D-Edit*; e para a visualização do protótipo foram utilizados os softwares de visualização *Octaga Player*, *Instant Player*, *FreeWRL* e *SwirlX3D*, embora somente o último tenha se mostrado adequado.

O ambiente virtual escolhido para estudo de caso é caracterizado por um espaço aberto repleto de vegetação que pode ser completamente explorado. Este espaço aberto é rodeado por cadeias de montanhas, que impõem os limites físicos do AV.

A escolha desta ambientação se deu pelo caráter de liberdade que um ambiente externo rico em vegetação pode oferecer, característica que contribui para a sensação de imersão. Também buscou-se propiciar um ambiente em que o usuário fosse capaz de navegar com um bom grau de realismo, aplicando técnicas de RV capazes de contribuir para alcançar este objetivo.

5.1. Modelagem do Ambiente Virtual

As entidades escolhidas para o estudo de caso podem ser divididas em: vegetação, construções, solo e céu. Cada uma foi modelada individualmente e todo o processo foi documentado.

A vegetação incluída no estudo de caso inclui árvores, grama e algumas flores. Para a modelagem desses elementos foram utilizadas duas técnicas de modelagem, que visavam obter o nível de detalhe desejado.

Para a modelagem das árvores, foi utilizada a técnica de modelagem poligonal devido a forma bastante orgânica desta entidade. A Figura 1 ilustra esse processo, que foi iniciado com uma primitiva *Cylinder*, que foi sendo modificada para acompanhar o gabarito até que se obteve a forma desejada para o tronco.

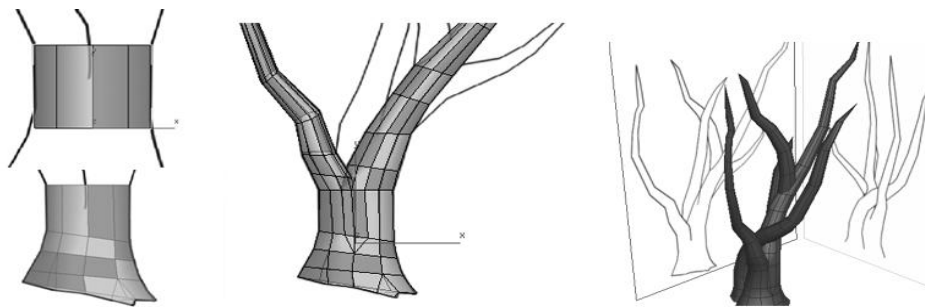


Figura 1. Modelagem poligonal do tronco

A texturização foi feita utilizando-se a técnica de mapeamento por planificação, disponível no 3ds Max por meio do modificador *Unwrap UVW*. A criação dos galhos menores e das folhas foi feita por meio da aplicação de uma textura simples a uma primitiva *Plane*, que foi então distribuída por toda a extensão do tronco, resultando em uma árvore bastante realística.

Os demais elementos da vegetação foram desenvolvidos por meio de uma técnica bastante utilizada em jogos eletrônicos, onde uma textura detalhada (Figura 2a) é aplicada a



uma primitiva *Plane*, dando a ela um nível de detalhes elevado utilizando pouquíssimos recursos (Figura 2b).

Figura 2. Técnica utilizada nas demais entidades do AV

O solo do AV foi modelado a partir de primitivas *Plane*, e é constituído de uma área de grama, que foi modificada para possuir irregularidades como elevações e declives; e cadeias de montanhas delimitando-a, também modificadas de forma a parecerem naturais.

A pequena casa encontrada no AV foi modelada por meio de técnicas simples, pelo fato de ser composta na sua maioria por elementos geométricos simples, como cubos e cilindros. A única exceção foram as paredes, que foram modeladas por meio da técnica de *lofting* do 3ds Max, que consiste na criação de geometria definida por *splines*.

Terminada a modelagem das entidades, o AV foi montado por meio de um processo simples, que consistiu da distribuição das entidades modeladas sobre a superfície do terreno, de forma que o resultado final pode ser visto na Figura 3.



Figura 3. Resultado final da modelagem

5.2. Implementação do protótipo

A implementação do protótipo teve início com a exportação do AV modelado para o formato X3D. Nesta etapa, foram encontradas várias dificuldades devido às poucas ferramentas disponíveis para a tarefa. Por fim o AV foi exportado por meio do *plug-in InstantExport*.

A próxima etapa foi a escolha de um software de visualização, e mais problemas foram encontrados. Foram os *softwares Octaga Player, Instant Player, FreeWRL e SwirlX3D*, sendo que apenas o último citado foi capaz de interpretar corretamente o arquivo exportando. Os demais tiveram problemas diversos, como distorções nas texturas e até a total inabilidade de carregar o AV, resultando em *crash*.

Em seguida foram incorporadas características de navegação ao protótipo, por meio da definição dos nós *NavigationInfo*, que descreve atributos básicos como o modo de navegação e as dimensões do *avatar* virtual utilizado para detecções de colisão; e *Viewpoint*, criado a partir de uma câmera virtual do 3ds Max definida durante o processo de modelagem.

A criação de um céu tridimensional, chamado de *skybox*, foi impossibilitada pelo fato de o *SwirlX3D* não oferecer suporte completo ao nó *Background*, característica disponível nos demais *softwares* de visualização testados.

Tabela 1. Recursos suportados pelos softwares de visualização testados

Recurso	<i>SwirlX3D</i>	<i>Instant Player</i>	<i>FreeWRL</i>
Compatibilidade com <i>InstantExport</i>	Sim	Parcial	Não
Interação	Não	Sim	Sim
<i>Skybox</i>	Não	Sim	Sim
Áudio	Não	Parcial	Não
Iluminação	Parcial	Sim	Sim

Recursos de interação e áudio também não puderam ser implementados por limitações impostas pelo *SwirlX3D*, que não oferece suporte a esse tipo de nós. Os demais softwares

testados suportavam nós de interação, mas como o SwirlX3D foi o único capaz de visualizar o AV corretamente, o protótipo ficou limitado aos recursos por ele oferecidos. A Tabela 1 ilustra esse aspecto.

6. Conclusão

Finalizada a modelagem e a implementação do estudo de caso desta pesquisa, obtiveram-se resultados que permitem a apresentação de um conjunto de conclusões, bem como a apresentação das dificuldades encontradas.

Com relação à caracterização do processo de imersão em ambientes virtuais, foi possível identificar as principais características da imersão e concluir que é possível alcançá-la empregando técnicas de RV específicas. Os resultados obtidos demonstram que um certo grau de imersão pode ser obtido mesmo com a disponibilidade poucos recursos e com a imposição de várias limitações tecnológicas.

Foi possível constatar, por meio da aplicação de técnicas de RV na implementação do protótipo desenvolvido, que técnicas simples contribuem de forma substancial para a qualidade da imersão propiciada ao usuário.

No que diz respeito à modelagem de um ambiente virtual Web, constatou-se que a utilização de técnicas de modelagem e ferramentas especializadas permitem a criação de ambientes ricos em detalhes, e que por meio de ferramentas e tecnologias Web elaboradas por órgãos especializados como o Web3D Consortium, é possível disponibilizar tais ambientes para acesso online via softwares de visualização específicos.

Os resultados obtidos para a modelagem de ambientes permitem concluir que empregando as técnicas apropriadas e utilizando as ferramentas certas, é possível modelar quaisquer tipos de ambientes virtuais e representá-los em quaisquer formatos desejados, desde que as ferramentas existam.

O desenvolvimento de um protótipo para visualização e exploração imersiva de um ambiente virtual Web com uso de técnicas de realidade virtual foi possível, em parte, por meio da utilização de ferramentas gratuitas para uso não comercial, que deixam a desejar em alguns aspectos, mas que tornaram possível o desenvolvimento do protótipo.

Muitas dificuldades foram encontradas durante este processo, principalmente no que diz respeito à disponibilidade de recursos importantes da especificação do X3D em *softwares* de visualização de uso gratuito, bem como na conformância destes com a especificação.

Por meio dos resultados obtidos, foi possível concluir que muito trabalho ainda precisa ser feito por parte dos responsáveis por estas ferramentas, e o que esteve disponível para uso gratuito durante a elaboração desta pesquisa se mostrou ainda imaturo para o desenvolvimento de uma aplicação séria e que ofereça ao usuário uma experiência completa. Este fator pode ser explicado pelo alcance limitado que a tecnologia X3D ainda tem, visto que não é utilizada em larga escala por nenhum *software* popular, embora discute-se a possibilidade de integração junto a especificação do HTML 5, que ainda não foi finalizada durante a elaboração desta pesquisa.

Referências

- Cardoso, Alexandre. Ambientes virtuais: projeto e implementação. Porto Alegre: SBC, 2003.
- Clinton, Yancey. Game character Modeling and Animation with 3ds Max. Burlington, MA: Elsevier, 2008.

- Fernández, Manuel Eduardo Loaiza. Implementação de um Dispositivo de Rastreamento Óptico com 6 Graus de Liberdade para Interação com Aplicações de Realidade Virtual. 2005. 101 f. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Informática, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.
- Hillis, Ken. Sensações digitais: espaço, identidade e corporificações na realidade virtual. São Leopoldo: Unisinos, 2004.
- Kirner, Claudio; SISCOOTTO, Robson. Realidade virtual e aumentada: conceitos, projeto e aplicações. Petrópolis: Sociedade Brasileira de Computação, 2007.
- Ko, Chi Chung; Cheng, Chang Dong. Interactive web-based virtual reality with java 3d. New York: IGI Globals, 2009.
- Krueger, Myron W. Artificial Reality II. 2nd ed. Reading, MA: Addison-Wesley, 1991.
- Morie, Jacquelyn Ford. Inspiring the future: merging mass communication, art, entertainment and virtual environment. Computer Graphics, [S.l.], v. 28, n. 2, p. 135-138, maio 1994.
- Ratner, Peter. 3-D human modeling and animation. 2nd ed. New Jersey: Wiley, 2003.
- Slater, M.; Wilbur, S. A framework for immersive virtual environments (FIVE): speculations on the role of presence in virtual environments. Presence: Teleoperators and Virtual Environments, v. 6, p. 603-616, 1997.
- Web3D Consortium. X3D Frequently Asked Questions. Disponível em: <<http://www.web3d.org/about/faq/>> Acesso em: 15 maio 2010.
- _____. What is X3D?. Disponível em: <<http://www.web3d.org/about/overview/>> Acesso em: 15 maio 2010.
- Witmer, Bob G.; Singer, Michael J. Measuring presence in virtual environments: a presence questionnaire. Presence: Teleoperators and Virtual Environments, v. 7, n. 3, p. 225-240, jun. 1998.