

JULIANA MOULIN FOSSE

**REPRESENTAÇÃO CARTOGRÁFICA INTERATIVA TRIDIMENSIONAL:
ESTUDO DA VARIÁVEL VISUAL COR EM AMBIENTE VRML**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Ciências Geodésicas, Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Departamento de Geomática, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná.

**Orientador: Prof. Dr. Luis Augusto Koenig
Veiga**

CURITIBA

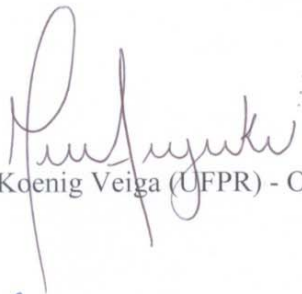
2004

**“REPRESENTAÇÃO CARTOGRÁFICA INTERATIVA
TRIDIMENSIONAL: ESTUDO DA VARIÁVEL VISUAL COR
EM AMBIENTE VRML”**

POR

JULIANA MOULIN FOSSE

Dissertação nº 173 aprovada como requisito parcial do grau de Mestre no Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas da Universidade Federal do Paraná, pela Comissão formada pelos professores:
Curitiba, 23 de abril de 2004.



Prof. Dr. Luís Augusto Koenig Veiga (UFPR) - Orientador e Presidente



Prof.ª Dr.ª Mônica Modesta Santos Decanini - Membro (UNESP)



Prof.ª Dr.ª Claudia Robbi Sluter – Membro (UFPR)

À minha família:
meus pais: Netto e Eliene;
meus irmãos: Rodrigo e Jamilla;
meus tios: Renato e Lili;
meus primos: Saulo e Filipe e;
meus avós: Dickson e Elenita.

AGRADECIMENTOS

À DEUS, pela minha vida.

À minha família, por todo amor recebido, que me sustenta e me faz sonhar.

Ao prof. Luís, pela orientação, confiança, amizade e palavras de incentivo. Obrigada pelo carinho, paciência e por estar sempre à disposição. Obrigada por me fazer crescer.

Aos professores, alunos e funcionários do CPGCG, pela receptividade, amizade e por compartilharem seus conhecimentos comigo. Obrigada pela oportunidade.

Aos membros da banca do exame de qualificação Prof^ª. Dr^ª. Cláudia Robbi Sluter e Prof^ª. Dr^ª. Mônica Modesta Santos Decanini, pela disponibilidade e sugestões.

Aos professores da UFV/Setor de Agrimensura, pelo incentivo e por tudo que me ensinaram durante a graduação.

À “Casa das Batistas” e a todos os amigos que passaram por lá, em especial a Patrícia, a Eliane, a Diana, a Sandra (Sami), a Milena e a Sandra Cristina. Obrigada por fazerem parte da minha história. Amo vocês!

À Lucy, à Roberta e à Sabrina, por serem amigas especiais. Amo vocês!

À Tânia, ao Thierre, Igor e Kevin. Vocês sempre serão a “minha família” em Curitiba. Obrigada pelos momentos vividos juntos.

À Lenira, pela hospitalidade.

À Valeska, pela ajuda e por disponibilizar seu trabalho final de graduação. Ao Magal, pela ajuda no programa ArcView. À Jaqueline, ao Juan, Jaime e Álvaro, pelas muitas dicas no decorrer desse período. E a Tathy e a Mada, pela amizade.

Às bibliotecárias, Eliana e Ângela, pela ajuda e atenção.

Ao CIEG, por disponibilizar suas dependências físicas e o programa ArcView.

À CAPES, pelo apoio financeiro.

E a todos aqueles que de forma direta ou indireta contribuíram para a realização deste trabalho.

“... Deus escolheu as coisas loucas do mundo para envergonhar os sábios
e escolheu as coisas fracas do mundo para envergonhar as fortes;
e Deus escolheu as coisas humildes do mundo,
e as desprezadas,
e aquelas que não são,
para reduzir a nada as que são;
a fim de que ninguém se vanglorie na presença de Deus.”

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	VIII
LISTA DE SIGLAS	X
RESUMO	XXI
ABSTRACT	XII
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 OBJETIVO PROPOSTO	2
1.2 JUSTIFICATIVA	2
1.3 APRESENTAÇÃO DA ESTRUTURA DO TRABALHO.....	3
2 COMUNICAÇÃO CARTOGRÁFICA E INTERATIVIDADE.....	5
2.1 VISUALIZAÇÃO CIENTÍFICA E CARTOGRÁFICA	5
2.2 MAPA INTERATIVO	8
2.3 MAPA MENTAL.....	10
2.4 CARACTERÍSTICAS DE UM FENÔMENO GEOGRÁFICO.....	11
2.4.1 Níveis de Medida	11
2.4.2 Dimensão Espacial.....	12
2.5 VARIÁVEIS VISUAIS.....	16
2.6 COR.....	18
2.8 INTERATIVIDADE	25
3 REALIDADE VIRTUAL.....	32
3.1 HISTÓRICO.....	33
3.2 FORMAS DE RV.....	36
3.2.1 RV de Simulação.....	36
3.2.2 RV de Projeção	37
3.2.3 Realidade Realçada	37
3.2.4 Telepresença.....	38
3.2.5 Dispositivos Visualmente Casados	38
3.2.6 RV de Mesa.....	38
3.3 DISPOSITIVOS DE ENTRADA DE DADOS.....	39
a) Dispositivos de Interação	39
b) Dispositivos de Trajetória	40
3.4 DISPOSITIVOS DE SAÍDA DE DADOS	40
3.4.1 Videocapacetes.....	41
3.4.2 <i>Head-Coupled Display</i>	41
3.4.3 Monitores e Sistemas de Projeção.....	42
3.5 MODELAGEM DOS MUNDOS VIRTUAIS NA INTERNET.....	43
3.5.1 Atribuição de cor a objetos VRML.....	47
3.5.2 GeoVRML - Representação de Dados Geográficos nos Mundos Virtuais.....	50
4 EXEMPLOS DE APLICAÇÕES DA RV NA CARTOGRAFIA	54
5 CONSIDERAÇÕES SOBRE O USO DA VARIÁVEL VISUAL COR NA VRML PARA FINS CARTOGRÁFICOS	62
6 MODELO TRIDIMENSIONAL DO CAMPUS CENTRO POLITÉCNICO DA UFPR USANDO VRML	70
6.1 FONTE DE DADOS	71
6.1.1 Base cartográfica.....	71
6.1.2 Alturas das edificações.....	74
6.2 REPRESENTAÇÃO TRIDIMENSIONAL.....	75
6.2.1 Geração do MDE.....	75

6.2.2	Geração da representação 3D das edificações	76
6.3	APLICAÇÃO DA VARIÁVEL VISUAL COR	78
6.3.1	Aplicação de tom de cor ao modelo	78
6.3.2	Aplicação de textura ao MDE	79
6.3.3	Exportação para VRML	80
6.3.4	Aplicação de luminosidade e saturação de cor ao modelo VRML	82
6.4	MODELOS VRML	87
6.5	SITE.....	90
7	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	96
	REFERÊNCIAS	100
	DOCUMENTOS CONSULTADOS	103
	APÊNDICES.....	104

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2.1 – MODELO DE COMUNICAÇÃO CARTOGRÁFICA.....	9
FIGURA 2.2 – MODELO DE COMUNICAÇÃO CARTOGRÁFICA - MAPA INTERATIVO.....	10
FIGURA 2.3 – REPRESENTAÇÃO 3D.....	14
FIGURA 2.4 – MODELO EM PERSPECTIVA - EXEMPLO DE 2,5D.....	15
FIGURA 2.5 – INDEPENDÊNCIA DOS EIXOS NUM ARQUIVO VRML.....	16
FIGURA 2.6 – VARIÁVEIS VISUAIS APLICADAS ÀS PRIMITIVAS GRÁFICAS NOS MAPAS BIDIMENSIONAIS.....	17
FIGURA 2.7 – VARIÁVEIS VISUAIS: LUMINOSIDADE, TOM, E SATURAÇÃO DE COR APLICADA A PRIMITIVA GRÁFICA VOLUME.....	17
FIGURA 2.8 – ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO.....	19
FIGURA 2.9 – FENÔMENO DE REFLEXÃO, ABSORÇÃO E TRANSMISSÃO.....	19
FIGURA 2.10 – OLHO HUMANO.....	20
FIGURA 2.11 – VARIAÇÃO DA COR EM LUMINOSIDADE.....	21
FIGURA 2.12 – VARIAÇÃO DE CINZA EM LUMINOSIDADE.....	21
FIGURA 2.13 – VARIAÇÃO DA COR EM SATURAÇÃO.....	21
FIGURA 2.14 – REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DO SISTEMA RGB.....	22
FIGURA 2.15 – REPRESENTAÇÃO VISUAL DO SISTEMA RGB.....	23
FIGURA 2.16 – REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DO SISTEMA HSV.....	24
FIGURA 2.17 – REPRESENTAÇÃO VISUAL DO SISTEMA HSV.....	24
FIGURA 2.18 – REPRESENTAÇÃO VISUAL DO MODELO DE MUNSELL.....	25
FIGURA 3.1 – O SENSORAMA DE MORTON HEILIG, 1956.....	34
FIGURA 3.2 – LUVA DE DADOS DATAGLOVE.....	35
FIGURA 3.3 – O SIMULADOR DE VÔO DO BOEING 777.....	37
FIGURA 3.4 – SISTEMA DE RV DE MESA.....	38
FIGURA 3.5 – HMD.....	41
FIGURA 3.6 – ESTAÇÃO DE TRABALHO EQUIPADA COM HCD.....	42
FIGURA 3.7 – RV ATRAVÉS DE MONITOR.....	43
FIGURA 3.8 – SISTEMA DE PROJEÇÃO EM TELAS MÚLTIPLAS.....	43
FIGURA 3.9 – ARQUIVO .WRL.....	44
FIGURA 3.10 – CUBO.....	44
FIGURA 3.11 – SISTEMA DE COORDENADAS ADOTADO PELA VRML.....	46
FIGURA 3.12 – ARQUIVO COM NÓS DE AGRUPAMENTO, APARÊNCIA E GEOMETRIA.....	47
FIGURA 3.13 – ILUSTRAÇÃO DO ARQUIVO DA FIGURA ANTERIOR.....	47
FIGURA 3.14 – ATRIBUIÇÃO DE CORES EM VRML.....	48
FIGURA 3.15 – VARIAÇÃO EM LUMINOSIDADE E SATURAÇÃO EM VRML.....	48
FIGURA 3.16 – EXEMPLO DE MDE GERADO ATRAVÉS DO DEM2GEOEG COM UMA IMAGEM MATRICIAL SOBREPOSTA COMO TEXTURA.....	53
FIGURA 4.1 – LOS ANGELES VIRTUAL.....	55
FIGURA 4.2 – EXEMPLO DE VRML NA CARTOGRAFIA, MODELADO POR RHYNE E FOWLER.....	55
FIGURA 4.3 – EXEMPLO DE VRML NA CARTOGRAFIA, MODELADO POR FAIRBAIRN E PARSLEY.....	56
FIGURA 4.4 – PLAN VIEW (A), MODEL VIEW (B) E WORLD VIEW (C).....	57
FIGURA 4.5 – VISUALIZAÇÃO DE UM MODELO TRIDIMENSIONAL EM ESTRUTURA DE ARAME (A) E COM TEXTURA (B).....	60
FIGURA 5.1 – CUBO AZUL.....	62
FIGURA 5.2 – FONTE DE LUZ <i>HEADLIGHT</i>	63
FIGURA 5.3 – FONTE DE LUZ <i>HEADLIGHT</i> (POSIÇÃO FRONTAL).....	64
FIGURA 5.4 – FONTE DE LUZ <i>HEADLIGHT</i> (POSIÇÃO LATERAL OPOSTA).....	64
FIGURA 5.5 – FONTE DE LUZ <i>DIRECTIONALLIGHT</i>	64
FIGURA 5.7 – FONTE DE LUZ <i>DIRECTIONALLIGHT</i> (POSIÇÃO FRONTAL).....	65
FIGURA 5.8 – FONTE DE LUZ <i>DIRECTIONALLIGHT</i> (POSIÇÃO LATERAL A).....	65
FIGURA 5.9 – FONTE DE LUZ <i>DIRECTIONALLIGHT</i> (POSIÇÃO LATERAL B).....	66
FIGURA 5.10 – FONTE DE LUZ <i>DIRECTIONALLIGHT</i> (POSIÇÃO LATERAL C).....	66

FIGURA 5.11 – FONTE DE LUZ <i>POINTLIGHT</i> (POSIÇÃO FRONTAL)	67
FIGURA 5.12 – FONTE DE LUZ <i>POINTLIGHT</i> (POSIÇÃO LATERAL A).....	67
FIGURA 5.13 – FONTE DE LUZ <i>POINTLIGHT</i> (POSIÇÃO LATERAL B).....	67
FIGURA 5.14 – FONTE DE LUZ <i>SPOTLIGHT</i>	68
FIGURA 5.15 – SEM FONTE DE LUZ (A).....	68
FIGURA 5.16 – SEM FONTE DE LUZ (B).....	69
FIGURA 6.1 – REPRESENTAÇÃO PLANIMÉTRICA DA ÁREA DE ESTUDO	72
FIGURA 6.2 – REPRESENTAÇÃO DAS CURVAS DE NÍVEL DA ÁREA DE ESTUDO	73
FIGURA 6.3 – GENERALIZAÇÃO NA REPRESENTAÇÃO DAS EDIFICAÇÕES.....	74
FIGURA 6.4 – MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO	75
FIGURA 6.5 – MDE COM AS EDIFICAÇÕES, VIAS, QUADRAS, ÁREA ESPORTIVA E LIMITE DA ÁREA.....	76
FIGURA 6.6 – TABELA COM ATRIBUTOS DOS POLIGONOS.....	77
FIGURA 6.7 – REPRESENTAÇÃO 3D DAS EDIFICAÇÕES	77
FIGURA 6.8 – REPRESENTAÇÃO DAS CLASSES USANDO TOM DE COR.....	78
FIGURA 6.9 – ARQUIVO VETORIAL COMO INFORMAÇÕES TEMÁTICAS.....	79
FIGURA 6.10 – IMAGEM DO CP USADA COMO TEXTURA.....	80
FIGURA 6.11 – IMAGEM EDITADA APLICADA À REPRESENTAÇÃO TRIDIMENSIONAL DA ÁREA NO ARCVIEW.....	80
FIGURA 6.12 – MODELO VRML COM TEXTURA	81
FIGURA 6.13 – BLOCOS DIDÁTICOS	82
FIGURA 6.14 – HISTOGRAMA	84
FIGURA 6.15 – REPRESENTAÇÃO DAS CLASSES USANDO LUMINOSIDADE.....	84
FIGURA 6.16 – REPRESENTAÇÃO DAS CLASSES USANDO SATURAÇÃO.....	85
FIGURA 6.17 – REPRESENTAÇÃO DAS CLASSES EM 3D USANDO LUMINOSIDADE.....	86
FIGURA 6.18 – REPRESENTAÇÃO DAS CLASSES EM 3D USANDO EM SATURAÇÃO	86
FIGURA 6.19 – MODELO VRML USANDO TOM DE COR.....	87
FIGURA 6.20 – EFEITO DA ILUMINAÇÃO NO MODELO 3D	88
FIGURA 6.21 – MODELO VRML USANDO LUMINOSIDADE.....	88
FIGURA 6.22 – VARIAÇÃO EM LUMINOSIDADE E SATURAÇÃO NO MODELO 3D	89
FIGURA 6.22 – MODELO VRML USANDO SATURAÇÃO.....	89
FIGURA 6.23 – VARIAÇÃO EM SATURAÇÃO NO MODELO 3D	90
FIGURA 6.24 – SITE.....	91
FIGURA 6.25 – RESUMO	91
FIGURA 6.26 – DISSERTAÇÃO E LINKS.....	92
FIGURA 6.27 – ESCOLHA DO MODELO VARIANDO A FONTE DE LUZ	92
FIGURA 6.28 – MODELO DIRECTIONAL LIGHT	93
FIGURA 6.29 – ESCOLHA DO MODELO 3D	93
FIGURA 6.30 – MODELO TOM DE COR.....	94
FIGURA 6.31 – MODELO LUMINOSIDADE.....	94
FIGURA 6.32 – MODELO SATURAÇÃO	95

LISTA DE SIGLAS

2.5D –	DUAS DIMENSÕES E MEIA
2D –	DUAS DIMENSÕES
3D –	TRÊS DIMENSÕES
ASC II –	AMERICAN STANDARD CODE FOR INFORMATION INTERCHANGE
CAD –	COMPUTER AIDED DESIGN (DESENHO ASSISTIDO POR COMPUTADOR)
CLR –	CENTRE FOR LANDSCAPE RESEARCH
CP –	CENTRO POLITÉCNICO
DEM –	DIGITAL ELEVATION MODEL
DOF –	DEGREE OF FREEDOM
DUT –	DELHT UNIVERSITY OF TECHNOLOGY
ETHZ –	SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY
HCD –	HEAD COUPLED DISPLAY
HLS –	HUE, LIGHTNESS, SATURATION
HMD –	HEAD MOUNTED DISPLAY
HSV –	HUE, SATURATION, VALUE
HTML –	HYPertext MARKUP LANGUAGE
HUD –	HEADS-UP-DISPLAY
HVC –	HUE, VALUE, CHROMA
ID –	ATRIBUTO DE IDENTIFICAÇÃO
ISO –	INTERNATIONAL STANDARDS ORGANIZATION
MDE –	MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO
NASA –	NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION
OCL –	OBTURADORES DE CRISTAL LÍQUIDO
RGB –	RED, GREEN, BLUE
SHP –	EXTENSÃO DO ARQUIVO SHAPE
SIG –	SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS
TIN –	TRIANGULAR IRREGULAR NETWORK (REDE TRIANGULAR IRREGULAR)
TOBAGO –	TOPOLOGY BUILDER FOR THE AUTOMATED GENERATION OF BUILDING MODELS
UFPR –	UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
USGS –	UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY
UTM –	UNIVERSAL TRANSVERSO DE MERCATOR
VCASS –	VISUALLY COUPLED AIRBORNE SISTEMS SIMULATOR
VIVED –	VIRTUAL VISUAL ENVIRONMENT DISPLAY
VRML –	VIRTUAL REALITY MODELING LANGUAGE
WRL –	EXTENSÃO DO ARQUIVO VRML
WRL.GZ –	EXTENSÃO DO ARQUIVO VRML
WRZ –	EXTENSÃO DO ARQUIVO VRML
WWW –	WORLD WIDE WEB

RESUMO

Este trabalho apresenta um estudo sobre representação cartográfica interativa e tridimensional com a aplicação da variável visual cor para representar os níveis de medida das informações. Esta representação foi realizada a partir de uma base cartográfica digital do Centro Politécnico da UFPR, da qual foram extraídas as informações planimétricas e as informações do relevo, e por levantamento de campo foram extraídas as informações das alturas das edificações que compõem a área. Três modelos tridimensionais foram gerados no programa *ArcView* a partir destas informações, sendo que para cada modelo foi aplicada uma variável visual (tom de cor, luminosidade e saturação), com o objetivo de representar o nível de medida adequado a cada classificação. Posteriormente, estes modelos foram exportados para a linguagem VRML (*Virtual Reality Modeling Language*) que permite uma visualização interativa dos dados. Também foi realizado um estudo sobre a influência do tipo de iluminação sobre o modelo VRML, empregando-se diferentes fontes de luz disponíveis nesta linguagem. Foi elaborado um *site* para a visualização dos modelos tridimensionais gerados e dos testes efetuados com os efeitos destas iluminações. A linguagem VRML mostrou-se eficiente na construção rápida e fácil de modelos tridimensionais e interativos. Dessa maneira, a Realidade Virtual apresenta-se como uma ferramenta de auxílio à Cartografia assim como um vasto campo de pesquisa a ser explorado.

ABSTRACT

This work presents a study about interactive and three-dimensional cartographic representation with the application of visual variable color to represent the measure levels of the information. This representation was accomplished from a digital cartographic base of the Polytechnic Center of UFPR, from which were extracted the horizontal and relief information, and through surveying height informations obtained of the constructions present in the area. Three three-dimensional models were generated from this information with ArcView software, and one visual variable (hue, value and saturation) was applied for each model aiming the measure level representation adapted to each classification. After that, these models were converted to the VRML language (Virtual Reality Modeling Language) which allows an interactive visualization of the data. An investigation was also accomplished on the influence of the illumination type over the VRML model, using different available light sources in this language. A site was created for the visualization of the generated three-dimensional models and for the visualization of the tests made with these illumination effects. The language VRML was efficient for the fast and easy construction of three-dimensional and interactive models. Therefore, the Virtual Reality comes up as a useful feature to Cartography as well as a vast research field to be explored.

1 INTRODUÇÃO

O grande avanço tecnológico ocorrido nas últimas décadas tem impulsionado a modernização da Cartografia. Por consequência, é cada vez mais comum o uso de mapas digitais em alternativa aos mapas impressos. A Realidade Virtual (RV) abre um novo campo para a exploração de mapas digitais: a modelagem interativa tridimensional.

A Realidade Virtual tem possibilitado a modelagem de mundos virtuais tridimensionais e através da Internet é possível a um grande número de usuários acessá-los, a qualquer momento e sem nenhum custo. Assim, a combinação da Cartografia com a RV torna possível a criação de um novo tipo de mapa, no qual o usuário poderá interagir com a representação, e em alguns casos, até mesmo ter a sensação de fazer parte dela, através de um processo imersivo ou semi-imersivo.

Uma das ferramentas utilizadas na criação destes mundos virtuais é a VRML (*Virtual Reality Modeling Language*) que, através de algumas geometrias pré-definidas, permite a construção de objetos tridimensionais mais complexos, dando origem a estes mundos (ou modelos) tridimensionais e interativos. Esta linguagem gera modelos para serem acessados via Internet. Uma extensão desta, denominada GeoVRML, é usada quando os dados a serem representados são dados de origem geográfica e que necessitam de determinados cuidados, como, por exemplo, o uso de um sistema geodésico de referência ou um sistema de projeção.

Neste trabalho, a partir de uma base cartográfica digital e das alturas das edificações que compõem a área, construiu-se três modelos tridimensionais do campus Centro Politécnico da UFPR, empregando-se o programa ArcView. Para representar adequadamente o nível de medida das informações em cada modelo gerado, usou-se as variáveis visuais tom de cor, luminosidade e saturação. A partir de tal procedimento os modelos foram exportados para VRML e disponibilizados num *site*.

Atualmente, grande parte dos estudos referentes a este tema têm sido realizados no âmbito de construção de modelos realísticos, com aplicação de texturas extraídas diretamente dos objetos a serem representados, buscando chamar a atenção do usuário

através do reconhecimento do ambiente e, em geral, objetivando apenas a navegação. Porém, a geração de um modelo tridimensional com os mesmos objetivos de um mapa, com aplicação adequada das variáveis visuais, textos e simbologia, dentre outros quesitos, ainda é algo pouco explorado.

1.1 OBJETIVO PROPOSTO

Esta pesquisa tem como objetivo a construção de um mapa interativo tridimensional através da linguagem VRML, explorando o uso da variável visual cor (tom, luminosidade e saturação) na representação do nível de medida das informações.

Como objetivos específicos têm-se:

- Fazer uma pesquisa sobre o estado da arte da aplicação da RV em trabalhos de Cartografia;
- Estudar uma maneira rápida e fácil para a elaboração do modelo 3D em VRML;
- Estudar os efeitos da iluminação sobre o modelo 3D;
- Elaborar um modelo 3D do campus Centro Politécnico da UFPR.

1.2 JUSTIFICATIVA

A Cartografia sempre buscou representar o mundo real, tridimensional, em um plano. E com o desenvolvimento tecnológico ocorrido nas últimas décadas, surge um novo desafio: como representar tridimensionalmente este mesmo mundo, em um ambiente computacional e quais seriam as implicações desta representação do ponto de vista da Cartografia. Outro item a ser estudado na questão desta representação tridimensional é que a mesma pode ser ainda dinâmica, possibilitando a interferência e interação do usuário.

A Realidade Virtual é uma tecnologia que possibilita uma comunicação mais ampla por envolver outros sentidos além da visão e audição, demonstrando ser de grande relevância abordar esse tema para novos estudos. Além disso, a cada dia aumenta significativamente o número de usuários da rede mundial de computadores, o que entre

outros fatores, mostra que a Internet poderá ser em breve um dos meios de comunicação mais populares. Assim, com a fusão dessas duas ferramentas pode-se aperfeiçoar a comunicação cartográfica.

Segundo MOORE (1999, p. 215) essa “nova” Cartografia pode ser vista como uma rica e sensorial combinação de mapas, modelos, sons e movimentos, em que o usuário também poderá interagir com esse mapa. Além disso, o usuário ganhará uma interface mais atraente que lhe proporcionará uma análise qualitativa direta bem mais intuitiva que as já existentes.

Ainda segundo MOORE (1999, p. 205), em três dimensões pode-se prover uma organização mais intuitiva de objetos espaciais, utilizando a percepção natural e memória do usuário referente ao espaço e a relação espacial dos objetos representados. A Realidade Virtual também pode estimular a atração e o entendimento do usuário por meio de sua interatividade e dinamismo.

Este é um tema atual, e é explorado em Universidades e Institutos de Pesquisas de vários países, nos quais se estudam as diversas maneiras de representar o mundo real num ambiente computacional utilizando conceitos de Realidade Virtual. Do ponto de vista da Cartografia, pouco se sabe sobre como aplicar os conceitos de RV de modo adequado e quais resultados podem ser gerados.

1.3 APRESENTAÇÃO DA ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está dividido em 7 capítulos. O primeiro capítulo consta da presente introdução ao problema de criar uma representação tridimensional e interativa para facilitar o processo da comunicação cartográfica. No segundo e terceiro capítulos, apresentam-se uma revisão bibliográfica apresentando conceitos de Comunicação Cartográfica, Interatividade e Realidade Virtual, buscando-se abordar apenas os conceitos considerados relevantes e indispensáveis para a realização do trabalho, como por exemplo, pode-se destacar o estudo da variável visual cor e o conceito de RV e suas várias formas.

No capítulo 4 são apresentados vários exemplos de trabalhos já realizados com

aplicações da VR na Cartografia.

No capítulo 5 apresenta-se um estudo sobre a influência da utilização da variável visual cor num ambiente VRML, de acordo com o tipo da fonte de luz e sua posição em relação ao modelo.

No capítulo 6 apresenta-se a construção de um modelo tridimensional a partir de uma base cartográfica digital do Centro Politécnico da UFPR. Com as informações planialtimétricas da área, obtidas no mapa do campus, e com as alturas das edificações que compõem a área, foi gerado um modelo tridimensional no programa ArcView, sendo o mesmo posteriormente exportado como um arquivo VRML.

Por fim, no Capítulo 7, apresentam-se as conclusões e recomendações para futuros trabalhos. Nos Apêndices são apresentados os croquis da área de estudo utilizadas para a modelagem tridimensional e por fim, descrições sobre as funções dos principais *plug-ins* para VRML.

2 COMUNICAÇÃO CARTOGRÁFICA E INTERATIVIDADE

Neste capítulo são apresentados conceitos referentes à Comunicação Cartográfica e Interatividade como revisão bibliográfica para a realização desse trabalho.

2.1 VISUALIZAÇÃO CIENTÍFICA E CARTOGRÁFICA

O desenvolvimento tecnológico ocorrido nas últimas décadas tem se refletido também na área da Cartografia, com isso, novas ferramentas computacionais têm sido criadas, tornando possível a visualização de dados tridimensionais e a sua interação com o usuário.

PETERSON (1995, p.03-04) define os mapas como sendo abstrações do mundo real. Mapas em papel representam de forma estática e simplificada um mundo dinâmico e complexo. As tecnologias da área de computação tornaram possível novas maneiras de fazer mapas, utilizando métodos de representação mais interativos e dinâmicos.

De acordo com TAYLOR (1994), as pesquisas sobre visualização sugerem que imagens semelhantes ao mundo tridimensional natural sejam usadas em modelos, de forma que tanto a análise como a comunicação sejam aperfeiçoadas. Ainda segundo o autor, a visualização requer o uso das recentes tecnologias computacionais para análise e apresentação de dados, podendo apresentar ao usuário um método visual de entendimento mais complexo e comunicar, de novas formas, a realidade dos dados expostos na tela do computador.

Segundo MACEACHREN (1995, p.355), visualização é um termo com muitos significados, mas no sentido mais geral pode ser interpretado como “fazer visível”, o que representa uma ampla área da cartografia. O termo “visualização científica” tem desafiado a tecnologia computacional para gerar dados e conceitos científicos mais inteligíveis. Pesquisas na área de visualização científica têm enfatizado a criação de tecnologia que permita aos cientistas voltar-se para dados abstratos, coletados via medidas derivadas ou geradas de modelos computacionais, para sua representação visual. Ao contrário, para a

criação da visualização de representações concretas, o termo visualização também pode se referir a fazer visível uma cena de uma imagem mental. Grandes *insights*¹ para resolução de problemas são muitas vezes ligados à habilidade de criar elaboradas imagens mentais e essas serem visualizadas.

PETERSON (1995, p.08) ainda ressalta a importância da visualização na ilustração gráfica para análise e interpretação, e reconhece que todos os seres humanos têm habilidade especial para interpretar essas apresentações gráficas e que essa habilidade deve ser explorada. A mais relevante proposta da visualização é a produção de *insights* para novas descobertas, entendimentos e tomadas de decisão.

Segundo BEYLS², citado por MACEACHREN (1995, p.356), a exploração pode dar a luz a efeitos colaterais, que muitas vezes são mais interessantes que as idéias iniciais que os encadearam. MACEACHREN diz ainda que muitos cientistas não possuem uma boa visualização mental, portanto, suas habilidades mentais para visualizar dados e suas relações devem ser auxiliadas por meio de ferramentas visuais. Essas ferramentas de manipulação concretizam e manipulam o que anteriormente somente poderia ser imaginado.

De acordo com TAYLOR (1994), existem três conceitos que devem estar presentes na Cartografia para proporcionar uma base teórica e conceitual adequada: a visualização, a cognição e a comunicação. Segundo o mesmo autor, embora a cognição e comunicação cartográfica não sejam conceitos novos em Cartografia, esses têm assumido novos significados na era da informação. A cognição cartográfica é o processo pelo qual o cérebro humano é envolvido no reconhecimento de padrões e suas relações no seu contexto espacial. A comunicação cartográfica visa melhorar a eficácia da transmissão das informações geográficas.

TAYLOR (1994) ainda relata que, embora a visualização seja um instrumento

¹ KOHLER (2003) define *insight* como uma consequência de que quando tornamos consciente uma relação, essa não é experimentada como um fato em si, mas como algo que se conclui das características de todos os objetos considerados.

² BEYLS, P. Discovery through interaction: A cognitive approach to computer media in visual arts. **Leonard**, [s.l.], v. 24, n. 3, p. 311-315, 1991.

científico, demanda habilidade artística, imaginação e intuição na sua aplicação. Reconhece-se, assim, a grande importância que deve ser dada às novas tecnologias, todavia, de maneira nenhuma se deve excluir a cognição e a comunicação.

O principal objetivo da representação visual dos dados é explorar a eficácia do sistema visual humano no reconhecimento de padrões e estruturas espaciais, objetivando a análise, o processamento e a tomada de decisão. A visualização busca enfatizar, nos dados representados, algumas características relevantes, que são ou não naturalmente percebidos para o usuário, fazendo com que se tornem entendidas mais fácil e intuitivamente (ROBERTSON (1988)³, apud TAYLOR (1994)).

Animação, Multimídia e Realidade Virtual são as técnicas que segundo SANDERCOCK (2000)⁴, citado por ROBBI (2000, p.34), possibilitam a visualização. A Animação pode ser descrita como a técnica de apresentação de vários quadros, suficientemente rápida, buscando dar a ilusão de movimento. Ao passo que textos, gráficos, animações, som e vídeo são utilizados como ferramentas para apresentar diferentes aspectos da informação, podendo-se classificar esta técnica como a de Multimídia (ROBBI, 2000, p.34). Os sistemas de Realidade Virtual, além de representar tridimensionalmente as características espaciais da informação, permitem ao usuário integrar e imergir no mundo representado.

GUAY (1990)⁵, citado por TAYLOR (1994), refere-se aos mapas como instrumentos de navegação, exploração e descobertas, descrevendo que:

“Mapas costumavam ser as ferramentas primárias para navegação, exploração e descoberta. Agora eles se tornaram os instrumentos para navegação interativa por computador. Estes modelos do mundo têm sido transformados em mundos de modelos. Um mapa cujo sistema incorporou a

³ ROBERTSON, P. K. Choosing data representation for the effective visualization of spatial data. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SPACIAL DATA HANDLING, 3., 1988, Sydney. **Proceedings...** Sydney: 1988. p. 243-252.

⁴ SANDERCOCK, M. **Cartographic visualization relies on the use of map to present cartographic ideas, is this visualization metaphor relevant in today's digital world?** Disponível em: <<http://www.gisca.adelaide.edu.au/~msanderc/>> Acesso em: 2000.

⁵ GUAY, L. A **Multimedia Atlas**. National Atlas Information Services Opportunities Seminar. Ottawa: 1990.

arquitetura do espaço inclui não apenas sua organização, mas também nosso modo de usar aquele espaço, de representá-lo e simulá-lo. Em outras palavras, nós estaremos navegando através do conhecimento. Os mapas têm nos fornecido uma maneira magnífica e dinâmica de aprender”.

Ainda segundo GUAY (1990)⁶, citado por TAYLOR (1994), antes era possível representar o mundo através das formas visuais, auditivas e escritas, agora, a cada dia, essa representação torna-se mais semelhante ao sistema de comunicação humana, explorando-se os demais sentidos.

O mapa interativo busca evidenciar os sentidos humanos, e diferencia-se do mapa estático por dar ao usuário a liberdade de interagir com as informações representadas.

2.2 MAPA INTERATIVO

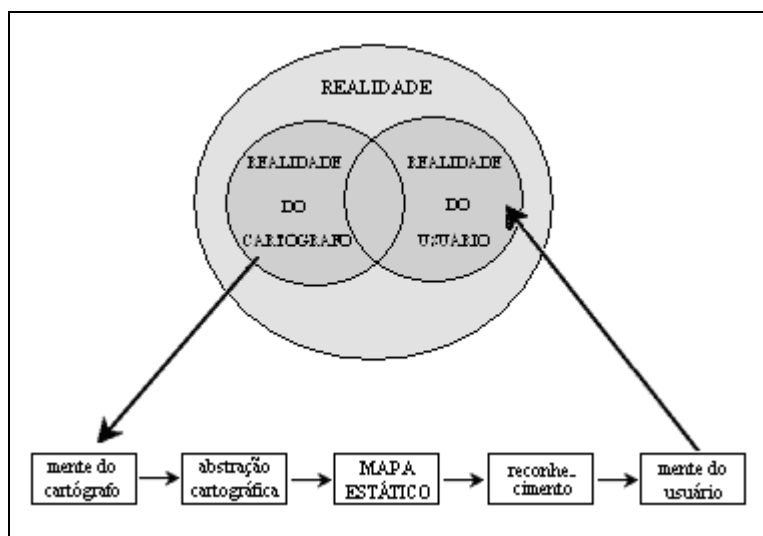
Entender ou conhecer o modo como o usuário percebe a ocorrência de um fenômeno Ou a disposição dos objetos que compõem o mundo real é extremamente importante para o cartógrafo. Visto que um mapa só atinge seu objetivo se há comunicação. Entretanto, para que haja comunicação, faz-se necessário que a realidade do cartógrafo e a realidade do usuário se sobreponham, ou seja, o cartógrafo deve conhecer o seu público alvo e, conseqüentemente, saber qual a melhor maneira de apresentar as informações a este público, de forma a explorar este modo de percepção que o usuário tem acerca do fenômeno.

PETERSON (1995, p.05)⁷ citado por ROBBI (2000, p. 43) apresenta um modelo de comunicação cartográfica, no qual mostra que para haver comunicação é necessário que o usuário reconheça o mapa criado pelo cartógrafo e a partir daí, seja capaz de aumentar o seu conhecimento através das novas informações apresentadas. Esta situação é representada pela Figura 2.1, na qual a realidade do cartógrafo e a realidade do usuário se sobrepõem.

⁶ GUAY, L. A **Multimedia Atlas**. National Atlas Information Services Opportunities Seminar. Ottawa: 1990.

⁷ PETERSON, M. P. **Interactive and animated cartography**. New Jersey: Prentice Hall, 1995. 257p.

FIGURA 2.1 – MODELO DE COMUNICAÇÃO CARTOGRÁFICA

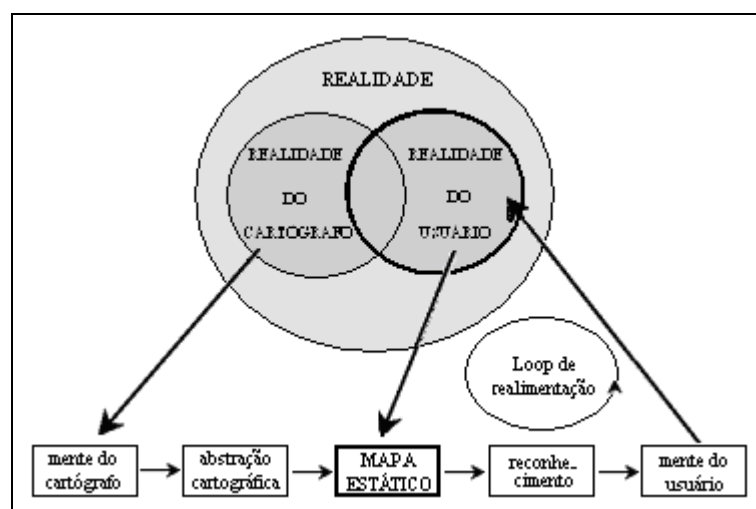


FONTE: Adaptado de PETERSON (1995, p.05)

Além do cartógrafo, o usuário também pode interferir no processo de comunicação. O cartógrafo pode apenas gerar o ambiente e permitir que o usuário controle o que é apresentado e como, criando um *looping* entre o conhecimento adquirido por ele e a apresentação de novas informações de forma interativa.

Segundo ROBBI (2000, p.50), quando é dado ao usuário algum mecanismo que o capacite a interagir com a base de dados, como “visualizar diferentes aspectos de um fenômeno, visualizar as informações em diferentes escalas, escolher a simbologia para visualizar a região de diferentes pontos de vista ou rotar o mapa”, pode-se dizer que esse usuário está interagindo com o mapa e a este produto cartográfico é dado o nome de mapa interativo. Ainda segundo a autora, no mapa interativo, o controle do processo de comunicação tem a participação do usuário, além da participação do cartógrafo. Dessa maneira, a Figura 2.2 é redefinida para representar o modelo de comunicação cartográfica do mapa interativo, onde o usuário tem a liberdade de alterar a representação dos dados.

FIGURA 2.2 – MODELO DE COMUNICAÇÃO CARTOGRÁFICA - MAPA INTERATIVO



FONTE: Adaptado de PETERSON (1995, p.05)

De acordo com ROBBI (2000, p.47), num sistema de visualização as informações cartográficas são percebidas na tela do computador. As limitações e propriedades físicas do dispositivo onde se geram as imagens digitais devem ser levadas em consideração (por exemplo, o tamanho da tela e o sistema de produção de cores). Outro ponto relevante é a possibilidade de representação de dados tridimensionais e um sistema de interação com o usuário.

PETERSON (1995, p. 45)⁸, citado por ROBBI (2000, p.51), define mapa interativo como “uma forma de apresentação cartográfica assistida por computador que busca imitar a representação de mapas mentais. Porém, superam os mapas mentais por incluírem mais características do fenômeno e não conter as distorções ou enganos desses. O mapa interativo é uma extensão da habilidade humana de visualizar lugares e distribuições”.

2.3 MAPA MENTAL

O termo “mapa mental” é usado para descrever uma representação interna, que surge na memória, similar a um mapa. Os mapas mentais apresentam distorções e preconceitos e suas medidas muitas vezes são incorretas. Entretanto, por não ser possível externar habilmente esses mapas, não é possível medir suas distorções. A habilidade de

⁸ PETERSON, M.P. **Interactive and animated cartography**. New Jersey: Prentice Hall, 1995. 257p.

perceber os próprios erros e a insatisfação das pessoas quando se tenta desenhar esses mapas mostram que eles não refletem adequadamente o “mapa na cabeça” (PETERSON, 1995, p.10).

O conceito mental do mundo ao nosso redor representa um grande papel na relação do homem com o seu ambiente e o mapa mental é, portanto, a sua conexão com o “mundo real”. Os mapas mentais proporcionam um conceito visual daquilo que existe no meio em que se vive, e também definem certas atitudes sobre pessoas e lugares (PETERSON, 1995, p. 10-11).

Portanto, o mapa mental é único, criado a partir do conhecimento do mundo de cada indivíduo. Quando uma pessoa cria um mapa mental ela busca referenciá-lo a objetos e características conhecidas desses objetos, que no seu entendimento são importantes ou que chamem sua atenção (como cor, tamanho ou por ter uma aparência diferente da maioria), porém, com muitas generalizações ou ênfases.

Por consequência, uma representação tridimensional deve facilitar o processo mental do usuário, já que é mais semelhante ao mapa mental criado por ele. Porém, um mapa mental, assim como uma representação tridimensional, ainda é diferente do mundo real porque seu estabelecimento depende do conhecimento e interesse de cada indivíduo.

2.4 CARACTERÍSTICAS DE UM FENÔMENO GEOGRÁFICO

2.4.1 Níveis de Medida

Uma das principais finalidades dos mapas é proporcionar ao usuário o reconhecimento e a aquisição de informações, de forma correta e clara, a respeito do espaço representado. Para isso, o cartógrafo deve ter bem definido o propósito de seu mapa e conhecer o fenômeno a ser representado. Selecionar as características do fenômeno a serem representadas, estruturá-las através dos níveis de medidas e usar as variáveis visuais que melhor representam essas informações, também são funções do cartógrafo no projeto de um mapa.

O propósito do mapa determina a simbologia que deve ser usada para representar de forma adequada às características do fenômeno geográfico a que se refere. Estas características do fenômeno são denominadas níveis (ou escalas) de medidas, e representam uma abordagem de estruturar as informações obtidas sobre a realidade (ROBBI, 2000, p. 44).

De acordo com DENT (1985)⁹, citado por ROBBI (2000, p.44), o nível de medida das características de um fenômeno a ser representado pode ser nominal, ordinal, intervalar ou de razão. O nível de medida nominal baseia-se na denominação de objetos segundo classes iguais ou distintas. O nível de medida ordinal também atribui valores ou nomes para as classes, porém produz um conjunto ordenado, ou seja, é permitida uma classificação hierárquica do fenômeno representado. Ainda segundo a autora, os níveis de medida intervalar e de razão são aplicados quando o fenômeno representado, além de ter suas classes identificadas e ordenadas, ser também conhecida a distância numérica entre elas. A diferença entre estes níveis de medida é o ponto de referência, que é definido de forma arbitrária para o intervalar e absoluto quando se refere à razão.

Segundo ROBBI (2000, p. 44), a variável visual cor (tom, luminosidade e saturação), forma e padrão (textura, orientação e arranjo), devem representar, de acordo com os níveis de medida adequados, as variações gráficas do fenômeno através de símbolos pontuais, lineares ou de área, no caso dos mapas bidimensionais.

2.4.2 Dimensão Espacial

ROBINSON et al. (1995) define mapa como a representação gráfica de fenômenos geográficos e, DENT (1999, p.73) complementa, dizendo que esses fenômenos geográficos podem ser classificados de cinco formas diferentes, quanto a sua dimensão espacial:

- Ponto (adimensional)
- Linha (unidimensional)
- Área (bidimensional)

⁹ DENT, B.D. **Principles of thematic map design**. 1985. 387p.

- Volume (tridimensional)
- Espaço-tempo (quarta-dimensão)

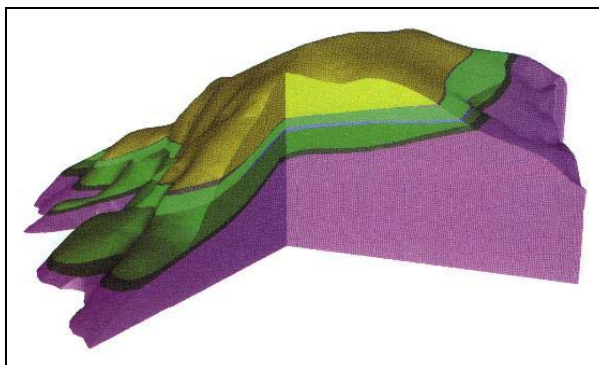
Segundo SLOCUM (1999, p.19) os fenômenos pontuais são adimensionais e podem ser localizados pela especificação de duas ou três dimensões espaciais, ou seja, um par de coordenadas x e y (longitude e latitude) e uma coordenada z (altitude), quando for o caso. Os fenômenos lineares têm uma dimensão, e sua localização também pode ser definida por duas ou três coordenadas, representando o seu comprimento e não sua largura. O fenômeno de área possui duas dimensões, comprimento e largura, e pode ser definido por uma série de coordenadas (x,y) formando um polígono fechado.

Como exemplo de volume pode-se citar a superfície da Terra, os oceanos e a atmosfera. Além desses, outros fenômenos geográficos também podem ser tratados como tridimensionais por serem similar ao volume, como pluviosidade, temperatura e alguns dados derivados, como densidade populacional, entre outros. O fenômeno espaço-tempo é melhor exemplificado por uma seqüência, como uma colonização ao longo do tempo, ou pelo fenômeno de migração (DENT, 1999, p. 73).

Do ponto de vista cartográfico, o fenômeno volumétrico ainda pode ser dividido em 2,5D e 3D. Vários autores se preocupam em definir essas duas classes para evitar confusões, o que acontece com frequência e precisa ser evitado.

SLOCUM (1999, p. 19) define 2,5D como uma superfície, em que cada ponto é conhecido latitude, longitude e um valor acima (ou abaixo) de um ponto de referência, chamado ponto zero. Um exemplo clássico da representação desse fenômeno é a superfície da Terra, onde cada ponto tem as duas coordenadas e um valor de elevação em relação ao nível do mar. Ao 3D, chamado de 3D Verdadeiro pelo autor, são associados múltiplos valores para cada par de coordenadas, como mostra a Figura 2.3. Assim, por exemplo, um ponto associado a esse fenômeno pode ser especificado por quatro valores: latitude, longitude, altitude (acima ou abaixo do ponto zero especificado) e o valor do fenômeno nesse ponto, como por exemplo, a concentração de dióxido de carbono na atmosfera.

FIGURA 2.3 – REPRESENTAÇÃO 3D



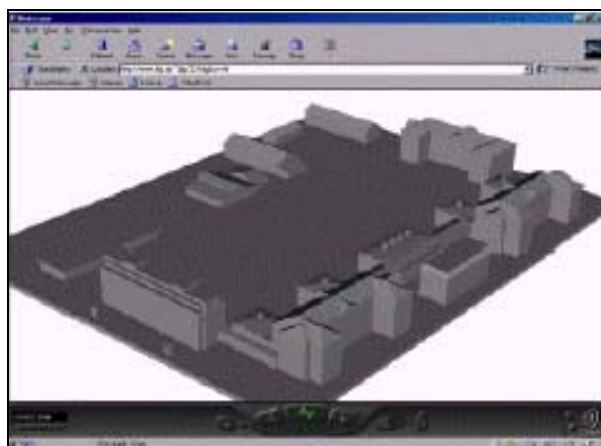
FONTE: Adaptada de SLOCUM (1999)

De acordo com TURNER (1997), o avanço computacional ocorrido nas duas últimas décadas tem possibilitado o desenvolvimento de aplicações que criam, apresentam e operam dados para descrever ao máximo a geometria e atributos de objetos tridimensionais. Segundo este mesmo autor, quando a superfície de elevação não é uma variável independente, ou seja, pode-se aceitar apenas um valor de elevação (z) para a superfície de localização (x,y), então esse sistema é melhor definido como um quase 3D ou 2,5D. Entretanto, um sistema 3D contém três eixos de coordenadas independentes, e deve aceitar repetidas ocorrências (z) em cada localizações (x,y).

MUSIN [1997] também distingue essas duas classes de representação de dados tridimensionais, baseando-se na modelagem do atributo z para cada posição (x,y). Quando não é possível tratar múltiplos valores de z , essa aproximação é chamada 2,5D, o que acontece com frequência no espaço tridimensional, ou 3D, caso cada posição no espaço possa receber múltiplos valores.

JIANG [2001] cita fotos e modelos em perspectiva como exemplos de representação 2,5D, como é visto na Figura 2.4. Mas, ressalta que isso, às vezes, também pode criar confusão, haja vista que os modelos VRML, inicialmente de representação 3D, podem ser referidos até certo ponto como sendo uma representação 2,5D. Assim, segundo o autor, uma representação 3D modelada em VRML é considerada como 2,5D quando vista em perspectiva ou impressa, e é classificada como 3D quando se refere ao modelo propriamente dito.

FIGURA 2.4 – MODELO EM PERSPECTIVA - EXEMPLO DE 2,5D



FONTE: JIANG [2001].

Segundo SCOTT [1996], na representação 2,5D (ou representação de superfície), enquanto x e y são as coordenadas espaciais, a altura z é um atributo, sendo impossível representar duas diferentes alturas para um mesmo ponto, aparenta 3D, mas mantém um modelo de dados 2D. Por isso, essa matriz de atributo é considerada 2,5D, por ser visualizada em três dimensões. Enquanto o 3D representa o volume.

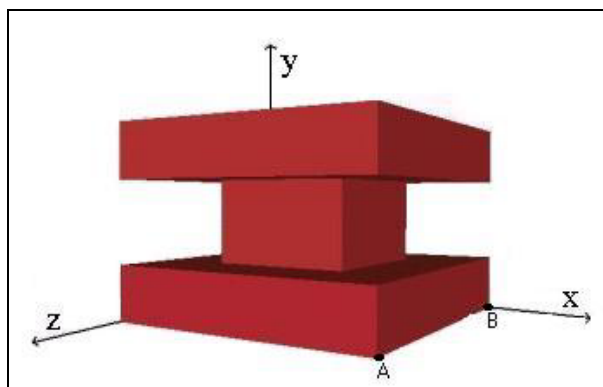
Um objeto 2,5D também pode ser definido como uma superfície no espaço, enquanto um objeto 3D, ou volumétrico, contém superfície e interior, além de coordenadas x , y e z no espaço (GLOSSARY, 2003).

Portanto, alguns dos autores aqui referenciados classificam os fenômenos tridimensionais em 2,5D e 3D quando representam superfícies e volumes, respectivamente. Enquanto os outros autores, classificam o fenômeno em função da dependência da variável z em função da posição (x,y) , ou seja, quando esta variável é independente e pode receber inúmeros valores para cada (x,y) , esta representação é dita 3D, caso contrário, 2,5D.

A linguagem usada para a modelagem dos mapas tridimensionais nesse trabalho é a VRML. Essa linguagem possui três eixos de coordenadas independentes, onde pontos com coordenadas x e y iguais podem ter um valor z diferente. Na Figura 2.5 os pontos A e B têm z diferente e mesma coordenada x e y . Além disso, cada objeto 3D criado tem como base uma ou mais primitivas geométricas, representadas pelo cubo, cilindro, cone ou esfera, que por definição são figuras volumétricas. Ademais, uma das principais finalidades desse trabalho é que o usuário tenha acesso ao mapa como um modelo de dados em três dimensões e não como perspectiva, embora ele o veja em perspectiva. Portanto, adota-se o

ponto de vista da VRML neste trabalho e assumem-se como tridimensionais os dados aqui representados.

FIGURA 2.5 – INDEPENDÊNCIA DOS EIXOS NUM ARQUIVO VRML

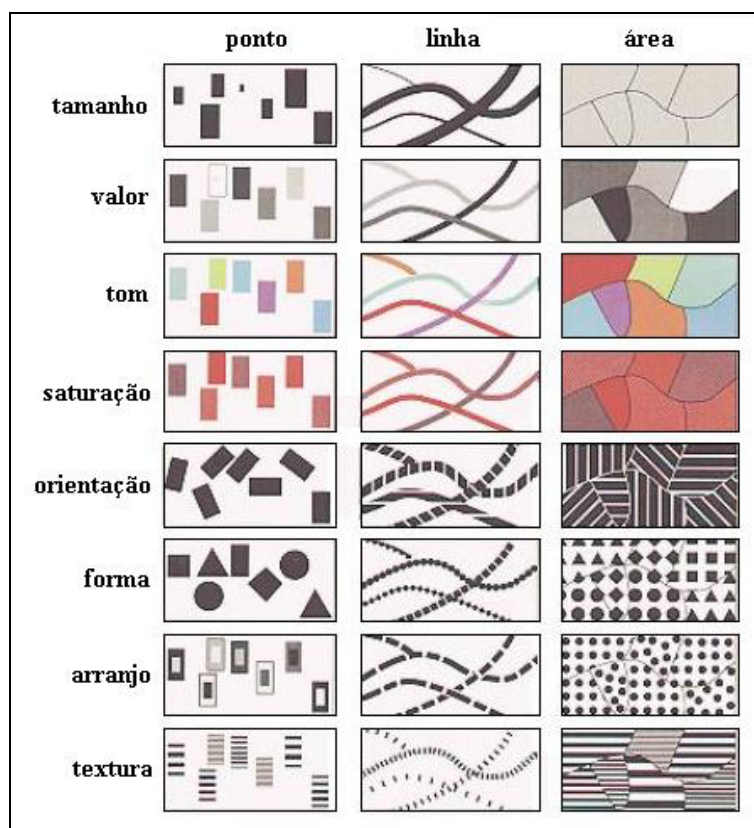


2.5 VARIÁVEIS VISUAIS

ROBBI (2000, p.43) diz que um projeto cartográfico deve ser iniciado com a definição de seu propósito, e a partir daí, determinar as características do fenômeno geográfico que deverão ser representadas. SLUTER (2002)¹⁰, acrescenta que, só através de uma relação adequada entre o nível de medida e a primitiva gráfica torna-se possível uma comunicação eficiente da informação cartográfica. Na Figura 2.6 apresentam-se as variáveis visuais, que podem ser usadas em mapas bidimensionais, representadas pelas primitivas gráficas ponto, linha e área.

¹⁰ SLUTER, C. R. **Cartografia Geral**. UFPR, 2002. Notas de aula. Comunicação informal.

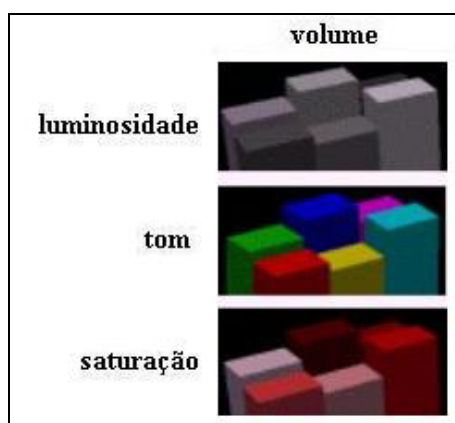
FIGURA 2.6 - VARIÁVEIS VISUAIS APLICADAS ÀS PRIMITIVAS GRÁFICAS NOS MAPAS BIDIMENSIONAIS



FONTE: Adaptado de MACEACHREN (1994, p.17)

A Figura 2.7 é adaptada da figura anterior e sugere a aplicação das variáveis visuais luminosidade, tom e saturação de cor aplicadas a primitiva gráfica volume.

FIGURA 2.7 - VARIÁVEIS VISUAIS: LUMINOSIDADE, TOM, E SATURAÇÃO DE COR APLICADA A PRIMITIVA GRÁFICA VOLUME



Como esse trabalho restringe-se à variável visual cor e sua aplicação num ambiente tridimensional, a seguir é apresentado, com mais detalhe, um estudo dessa variável e suas dimensões: tom, luminosidade e saturação.

2.6 COR

O mapa é um meio de comunicação visual que deve ser objetivo e o mais claro possível, pressupondo o uso da percepção visual. Por se tratar de uma linguagem visual, utiliza símbolos para descrever e localizar os objetos e características do espaço representado. Essa imagem visual é que proporciona a percepção dos objetos, suas características, e sua organização no espaço geográfico representado.

Pode-se dizer também que a percepção visual das feições representadas no espaço cartográfico pode mudar de acordo com o nível de sua representação, ou seja, de acordo com o nível de generalização empregado. Um mapa deve ser o resultado de um trabalho minucioso de escolha e criação de símbolos e cores adequados a representar as feições e características presentes num dado espaço geográfico.

As cores estão presentes em todos os ambientes, e dessa forma fazem parte da nossa vida. Segundo FERREIRA et al. [2000], cada indivíduo interpreta as cores de maneira diferente, o que é o resultado de influências relacionadas a fatores psicológicos, culturais, sociológicos, religiosos, climáticos e fisiológicos, portanto uma resposta sensorial e individual dos estímulos de cada um.

Pode-se dizer que a cor é um dos elementos mais relevantes e indispensáveis para representar a natureza, objetos e imagens criadas pelo homem. A cor também pode ser usada para agrupar objetos pertencentes a uma mesma classe ou distinguir grupos de formas semelhantes, ou ainda, sugerir noções de hierarquia a essas formas semelhantes.

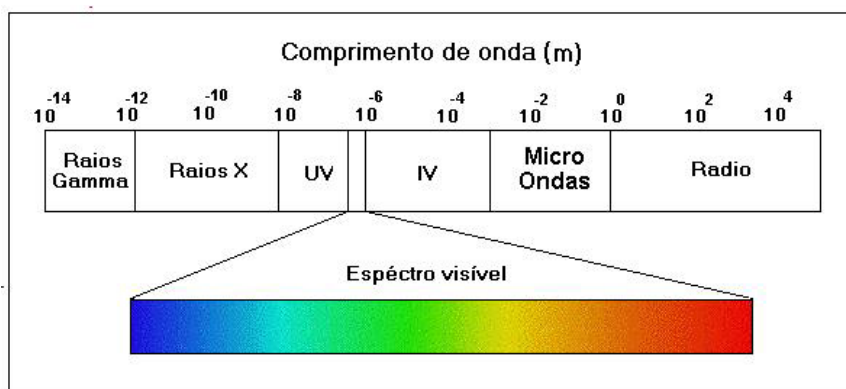
De acordo com DENT (1999, p.290) e ROBINSON et al. (1995, p.345), a produção de cor requer três elementos básicos: uma fonte de luz, um objeto que reflete esta luz e um observador, que é representado por um sistema de processo visual olho-cérebro humano. Porém, acima de tudo, a cor é um fenômeno de percepção, uma resposta mental da radiação eletromagnética detectada pelos nossos olhos.

De acordo com MELCHIADES e BOSCHI (1999), a luz, quando abordada como onda, consiste em uma radiação eletromagnética. Cada luz é caracterizada pela radiação correspondente a um intervalo de comprimentos de onda do espectro. Assim, a cor de um

objeto depende do espectro da luz incidente, que ao ser alterada, também produz alterações na resposta espectral percebida pelo observador.

O espectro eletromagnético apresenta os diferentes tipos de radiação em função dos diferentes comprimentos de onda, como mostra a Figura 2.8. A região denominada visível compreende uma faixa entre 0,4 e 0,7 μm , onde se localizam as radiações correspondentes às cores que o olho humano é capaz de identificar.

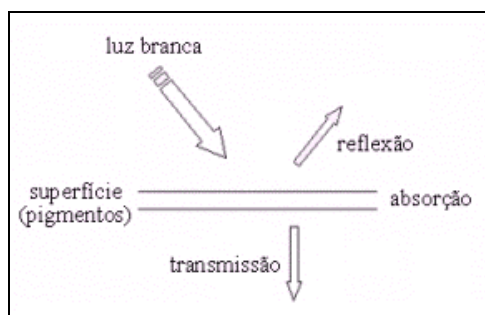
FIGURA 2.8 – ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO



FONTE: Adaptada de SLOCUM (1999, p.84)

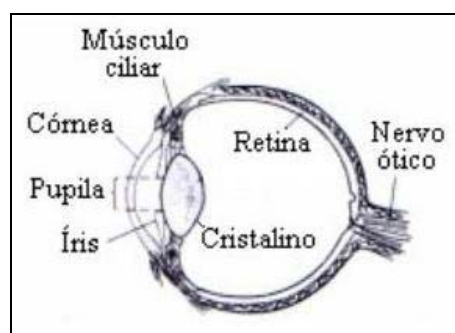
Quando uma emissão de luz incide sobre um objeto, pode ocorrer o fenômeno de reflexão, absorção e transmissão (Figura 2.9). A transmissão está relacionada com a transparência do objeto e o fenômeno de absorção e reflexão caracteriza-se pela capacidade de absorver e refletir, respectivamente, os comprimentos de ondas do espectro. Estas características são específicas de cada material, dada em função dos pigmentos que compõem sua superfície e que resultam em sua cor. Assim, a cor de um objeto é percebida em decorrência da fração do comprimento de onda do espectro eletromagnético que sua superfície reflete.

FIGURA 2.9 – FENÔMENO DE REFLEXÃO, ABSORÇÃO E TRANSMISSÃO



A continuidade do processo de percepção da cor, pelo observador, só é possível através do olho, que é capaz de receber e controlar a quantidade de energia luminosa proveniente da interação da luz com o objeto. A Figura 2.11 representa um corte esquemático do olho humano. Segundo TIPLER (1995, p. 89) com a entrada da luz no olho através da pupila, a luz é focalizada pelo sistema córnea-cristalino na retina. A retina contém estruturas sensíveis à luz, os cones e bastonetes, que recebem o estímulo luminoso e transmitem a informação, através do nervo ótico, para o cérebro.

FIGURA 2.10 – OLHO HUMANO



FONTE: Adaptada de TIPLER (1995, p. 89)

DENT (1999, p.290-291) também diz que a luz visível é parte da energia do espectro eletromagnético, a que nossos olhos respondem, composta por várias cores, de diferentes comprimentos de onda. Cada fonte de luz pode gerar diferentes modelos de energia espectral e, cada tipo diferente de superfície dos objetos que a luz é refletida afeta as características físicas da cor.

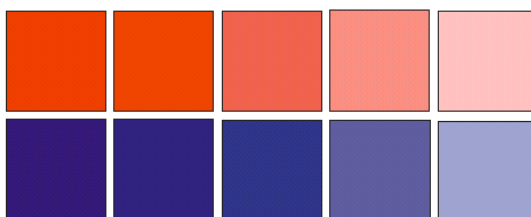
DENT (1999, p.288) e ROBINSON et al. (1995, p.343) definem cor em três dimensões: tom, luminosidade e saturação. Entendendo-se por dimensão a propriedade que pode ser variada sistematicamente sem alterar outras propriedades.

ROBINSON et al. (1995, p. 343) define tom como a dimensão da cor associada ao comprimento de onda dominante do espectro eletromagnético. Cada tom de cor possui um comprimento de onda na faixa do visível do espectro, que se encontra entre os limites de aproximadamente 400 a 700 nm¹¹, como apresentado na Figura 2.8. Assim, pode-se denominar tom como as diferentes cores percebidas.

¹¹ Um nanometro (nm) equivale a um bilionésimo do metro, ou seja, 10⁻⁹m.

A luminosidade pode ser caracterizada como a quantidade de luz branca incidente na cor, como ilustra a Figura 2.11. Para ROBINSON et al. (1995, p. 343), toda cor pode ser classificada em termos de presença ou falta de luz, ou seja, claridade ou escuridão. O que depende da quantidade de luz refletida ou emitida pela superfície do objeto e de áreas vizinhas.

FIGURA 2.11 – VARIAÇÃO DA COR EM LUMINOSIDADE



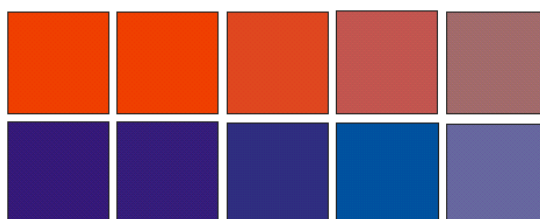
Uma escala em luminosidade de cinzas, como mostrado na Figura 2.12, pode ilustrar a idéia de independência dessa dimensão da cor, podendo sobrepor-se a uma área de tom constante que não modifica o comprimento de onda dominante das novas cores (ROBINSON et al., 1995, p.343-345).

FIGURA 2.12 – VARIAÇÃO DE CINZA EM LUMINOSIDADE



A saturação, segundo DENT (1999, p. 293), também é chamada de intensidade ou pureza da cor. Esta dimensão pode ser melhor entendida com a comparação da cor com o cinza neutro. Dado um tom, a saturação varia de zero (cinza neutro) a cem por cento, onde a cor aparece pura e não contém cinza (Figura 2.13).

FIGURA 2.13 – VARIAÇÃO DA COR EM SATURAÇÃO



Como a cor é apenas uma percepção, que varia de pessoa para pessoa, foram desenvolvidos sistemas para sua especificação e dimensionamento, levando-se em

consideração suas propriedades. Estes sistemas foram desenvolvidos para descrever diferentes características da cor a ser usada para diferentes finalidades.

Segundo ROBINSON et al. (1995, p. 356), os sistemas mais comuns de modelagem de cor no meio eletrônico são: o HLS (*Hue, Lightness, Saturation*), HVC (*Hue, Value, Chroma*) e o RGB (*Red, Green, Blue*). Um requisito básico para um sistema de modelagem de cor eletrônico é a unicidade da posição de cada cor no espaço tridimensional da cor, contendo o espaço todas as combinações possíveis das primárias aditivas (vermelho, verde e azul).

O sistema pode ser subtrativo ou aditivo. No sistema subtrativo o processo ocorre na superfície dos corpos, provido da ação seletiva das radiações luminosas refletidas, em função dos pigmentos. Quanto ao sistema aditivo, esse ocorre no olho humano, e segundo a teoria proposta por *Young-Helmholtz: Tristimulus Color Theory* (ou teoria dos 3 estímulos), a cor é percebida através da estimulação dos 3 pigmentos visuais presentes nas células cone da retina (SLOCUM, 1999, p. 85). O sistema RGB de cores primárias é um exemplo da síntese aditiva e pode ser representado graficamente através do cubo unitário definido sobre os eixos R, G e B, como mostra a Figura 2.14 e a Figura 2.15.

FIGURA 2.14 – REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DO SISTEMA RGB

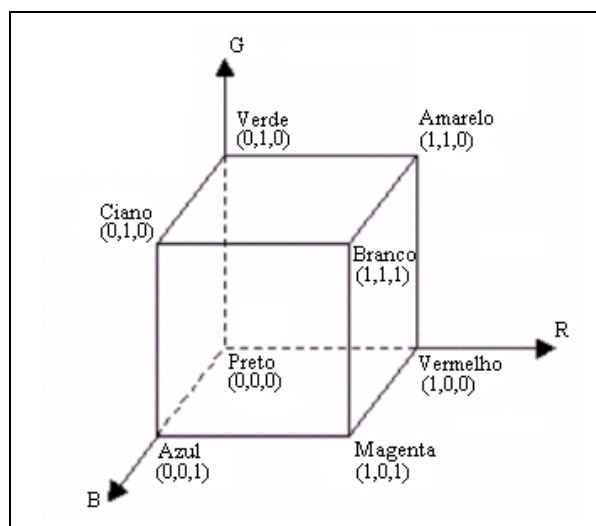
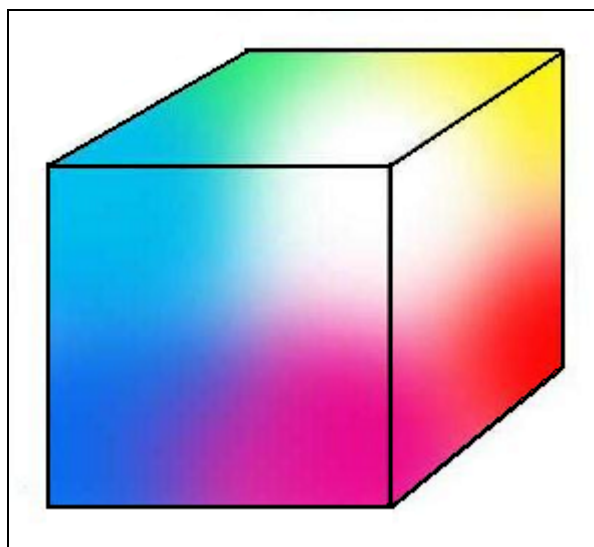


FIGURA 2.15 – REPRESENTAÇÃO VISUAL DO SISTEMA RGB



Segundo ROBINSON et al. (1995, p.357), as coordenadas, mostradas na Figura 2.14, controlam a intensidade de luz vermelha, verde e azul na cor. No cubo RGB, a posição origem representa a cor preta, ou seja, sem emissão de luz, enquanto a sua diagonal oposta corresponde ao branco. A escala de cinzas nesse sistema localiza-se na linha diagonal. As primárias aditivas são encontradas nos três vértices adjacentes ao que corresponde à cor preta, misturando os pares das primárias aditivas tem-se o ciano (azul e verde), magenta (azul e vermelho) e amarelo (vermelho e verde), que são posicionadas nos outros três cantos.

O sistema HSV descreve a cor através das variáveis que compõem o modelo, que são o *hue* (tom), *saturation* (saturação) e *value* (luminosidade). Este sistema é mais intuitivo do que combinações de um conjunto de cores primárias, portanto é mais adequado para ser usado na especificação de cores em nível de interface com o mesmo. A representação gráfica tridimensional do sistema HSV é um cone de 6 lados derivado do cubo RGB, representado na Figura 2.16 e na Figura 2.17.

FIGURA 2.16 – REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DO SISTEMA HSV

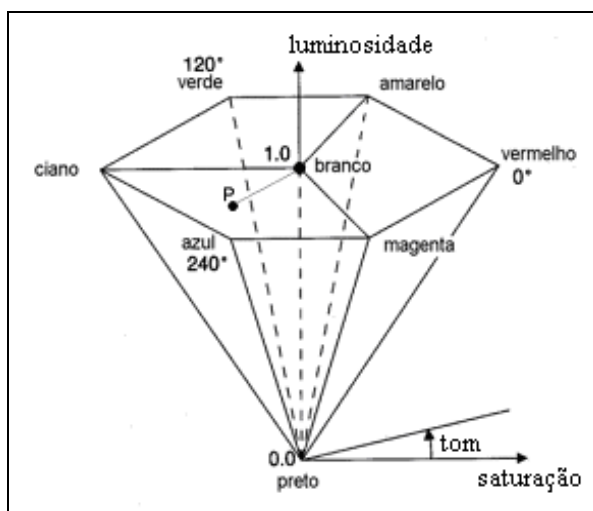
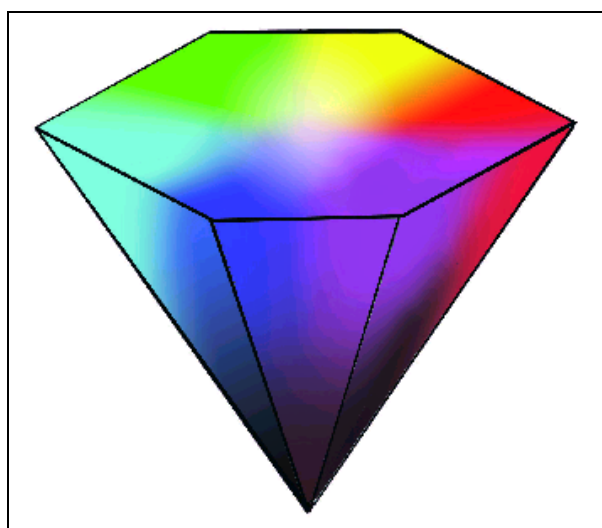


FIGURA 2.17 – REPRESENTAÇÃO VISUAL DO SISTEMA HSV



A variável *hue* determina a cor predominante escolhida e sua variação é angular de 0° a 360° , que corresponde ao vermelho, passando pelo verde (120°) e pelo azul (240°). A variável *saturation* é a componente que determina a pureza da cor selecionada em *hue* e, o *value*, que regula o brilho da cor determinada por *hue* e *saturation*, geralmente varia entre 0 e 1, mas por serem apenas uma notação, às vezes, é usado uma variação entre 0 e 255.

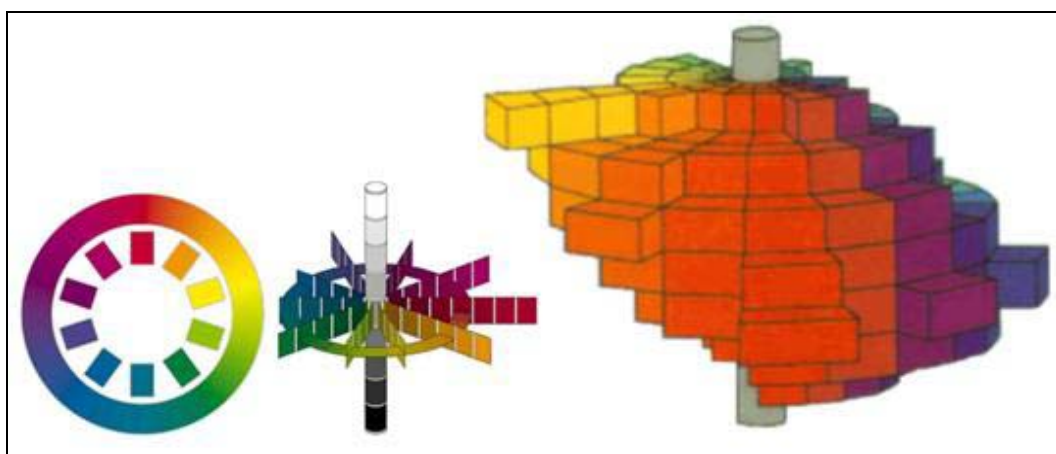
Os sistemas de cores RGB e HSV, descritos anteriormente, não levam em consideração os brilhos naturais das cores, que caracterizam as diferentes variações perceptivas de cada cor. Entretanto, segundo SLOCUM (1999, p. 97), o sistema de cor de Munsell baseia-se na percepção.

O modelo de Munsell tem estrutura similar ao modelo HSV, porém é assimétrico,

devido à existência de valores de luminosidade e saturação serem diferentes para cada tom. Uma importante característica deste modelo é que intervalos iguais na variação do modelo representam intervalos iguais de percepção (SLOCUM, 1999, p. 97).

Segundo ROBINSON et al. (1995, p.352), a relação entre as três dimensões do sistema de cor de Munsell pode ser visualizada como um sólido tridimensional de cores. Este sólido é definido por dez tons de cor diferente, variando em dez intervalos de níveis de cinza diferentes, correspondente à variação em luminosidade, e variando em quantidades diferente de níveis de saturação em cada diferente tom, como mostra a Figura 2.18.

FIGURA 2.18 – REPRESENTAÇÃO VISUAL DO MODELO DE MUNSELL



FONTE: Adaptada de SLUTER (2002)¹²

O produto final gerado por este trabalho considera apenas a sua visualização em tela de computador. Segundo DENT (1999, p. 338), a cor percebida de um produto gerado na tela do computador é consequência de pontos coloridos tão pequenos que o olho humano não consegue distinguir individualmente, o que dá origem a uma mistura de cores. Assim, pelo sistema RGB, por exemplo, diferentes intensidades de vermelho, verde e azul criam as diferentes possibilidades de cores a serem exibidas na tela.

2.8 INTERATIVIDADE

Definir mapa interativo ou um sistema de interatividade, ou ainda, dividir e classificar os níveis de interatividade, não é trivial. Por se tratar de um tema recente e que

¹² SLUTER, C. R. **Cartografia Geral**. UFPR, 2002. Notas de aula. Comunicação informal.

vem evoluindo constantemente, seus conceitos ainda não estão consolidados e cada autor ou pessoa envolvida na área defende suas idéias. Porém, de modo geral, a maioria desses profissionais descreve que a interatividade requer um sistema de mapeamento eletrônico e com isso exclui os mapas impressos. A seguir, algumas classificações e categorias de interatividade são descritas:

ASCHE e HERRMAN (1994)¹³, citado por CRAMPTON (2002), divide a interatividade em três níveis, de acordo com o seu complexo funcional, variando de restrito ao de total alcance. O primeiro nível tem interatividade restrita, que inclui ver e navegar, com possibilidade de selecionar a área do mapa ou escala, nível de *zoom* ou mover o mapa na tela, além da possibilidade de realizar comparações entre dois ou mais mapas simultaneamente em janelas separadas. O segundo nível inclui interações com o complexo gráfico ou estrutura do sistema, tais como o acesso a diferentes *layers* de informações ou variar o grau de detalhamento apresentado no contexto. O último e mais interativo, inclui manipulação, controle, análise, *link* de informações externas dos dados selecionados e *redesign* gráfico. Neste nível de interatividade o usuário é inteiramente envolvido, não somente com a evolução dos dados espaciais, mas também com a visualização da informação geográfica.

Segundo CRAMPTON (2002), a interação em geovisualização pode ser definida por um sistema que muda a aparência visual dos dados representados em resposta a um comando de entrada do usuário. Esse sistema deve responder a esse comando, em um curto intervalo de tempo, para manter a sensação de interatividade em tempo real. Esta definição separa os mapas estáticos tradicionais da geovisualização, e ao mesmo tempo enfatiza a componente visual como o principal meio de análise.

CRAMPTON (2002) classifica os níveis de interatividade em cinco e faz uma sucinta definição dos mesmos, do mais simples ao mais sofisticado. A seguir é descrito os cinco níveis de interatividade, segundo o autor:

¹³ ASCHE, H.; HERRMAN, C.M. Designing interactive maps for planning and education. In: A.M. MacEachren and D.R.F. Taylor. **Visualization in modern cartography**. Oxford: Elsevier. 1994. p. 215-42.

- O **mais baixo nível de interatividade** envolve examinação, que é apenas olhar ou examinar alguma coisa. Essa pode ser considerada a tarefa mais simples ou significativa a ser feita na geovisualização, o que não implica que seja trivial. Sua meta é levar o usuário a ver o que está lá, que pode ser usando múltiplas perspectivas (de frente, de trás e dos lados), girando em volta do objeto que está num ambiente tridimensional, mudando as condições de iluminação, ou de outras maneiras;
- Já o **segundo nível de interatividade**, exige um pouco mais do sistema e pode gerar um pouco de dificuldade, porque busca realizar uma comparação simultânea na apresentação de dois ou mais dados em lugar de um;
- O **nível médio de interatividade** é exemplificado por (re)ordenar ou (re)classificar dados espaciais. Ou seja, além de ver, permite desempenhar uma manipulação direta dos dados;
- O **quarto nível de interatividade**, ainda um pouco mais alto, é caracterizado pela extração (ou realce) e supressão (ou filtragem) dos dados, o que ocorre quando o usuário identifica um subconjunto de dados e deseja ressaltá-lo ou eliminá-lo;
- E no **mais alto nível de interação** pode ser feita uma manipulação desses dados como teste de causa e efeito.

CRAMPTON (2002) ainda define quatro tipos de interatividade, que não são exclusivos nem exaustivos e, dentro dessas principais categorias, outros tipos de interatividade também são sugeridas e definidas. São eles: interatividade com a representação de dados, interatividade com dimensão temporal, interatividade com dados e interatividade com interação contextualizada. A seguir, estes quatro tipos de interatividade são abordados segundo o mesmo autor:

- a) **Interatividade com a representação de dados (*Interactivity with the data representation*)**: Dentro desta classificação o usuário obtém diferentes vistas (ou perspectivas) dos dados para manipular sua aparência. Em geral, esse tipo de interatividade é o meio menos interativo e refere-se a examinação de dados.

Seis classes são apresentadas:

- Iluminação (*Lighting*): O efeito de iluminação sobre a cena pode facilitar ou aumentar o grau de dificuldade no reconhecimento e interpretação dos dados. A iluminação pode tratar de coisas simples como o ângulo de incidência sobre um mapa de relevo com sombras ou até uma sofisticada manipulação de atributo de luminosidade tal como a representação de comprimentos de onda em imagens de sensoriamento remoto. No mínimo, esse efeito pode sugerir a interpretação de sombra e reflexão.
 - Mudança de ponto de vista (*Changing viewpoint*): Nesse processo é usado uma metáfora de “modelo e câmera”, como se o ponto de vista do usuário fosse derivado de uma câmera, que é a vista da cena, e uma mudança relativa à posição dessa câmera tem como consequência diferentes vistas desses dados.
 - Mudança na orientação dos dados (*Changing orientation of data*): Além da mudança de ponto de vista descrita anteriormente, outra maneira de ver esses dados é manter a posição do usuário (ou segurar a câmera) na mesma posição, e reorientar os dados, como por exemplo, se eles se movimentassem em volta do usuário.
 - Aproximação/afastamento (*Zoom In/ Zoom out*): Essa categoria de interatividade preocupa-se em aproximar ou afastar os dados representados na tela, e assim, mais ou menos detalhes podem ser vistos.
 - Redimensionamento (*Re-scaling*): Esta categoria de interatividade refere-se a dimensionar novamente os parâmetros dos dados apresentados, de forma que eles possam ser padronizados para serem comparados.
 - Troca de símbolos (*Remapping symbols*): Esse conceito refere-se a refazer ou trocar a simbolização usada na cena, como por exemplo, a alteração da cor que é usada para diversas finalidades. Além dessa, outras variáveis visuais como tamanho, forma e orientação, também podem ser alteradas.
- b) **Interatividade com dimensão temporal (*Interaction with the temporal dimension*)**: Mapas dinâmicos representam uma continua mudança, com ou

sem o controle do usuário. Um mapa animado é uma forma de mapa dinâmico, onde o usuário pode ter uma pequena oportunidade de controlar a sua aparência. Pode-se dizer que, por possuírem movimentos, esse tipo de mapa tem oposição direta aos mapas estáticos tradicionais. Quatro classes são descritas a seguir segundo o autor:

- Navegação (*Navegation*): O ambiente físico tem sido motivo de muita atenção para os cartógrafos, pois tem demonstrado poder reduzir as operações de decisões cognitivas no processo e representação mental. Num ambiente de mapa interativo cabe ao usuário escolher a rota que vai seguir na paisagem virtual. Diferentes cenas, desde aquelas que apresentam uma paisagem extremamente abstrata ou bem natural, são apresentadas de acordo com a navegação e o caminho escolhido pelo usuário. Em alguns sistemas também é permitido ao usuário navegar por ambientes que representam o passado, o presente e o futuro. Assim, a navegação tem sido considerada como um nível médio de interatividade.
- Vôo (*Fly-bys / fly-throughs*): Esta classe caracteriza-se por se assemelhar a uma viagem sobre um terreno (representado por uma paisagem ou por dados). Uma seqüência de quadros pode gerar uma aparência de movimento na paisagem. A forma mais básica dessa categoria não tem alta interatividade mas, pode descrever uma animação final satisfatória para o usuário. A rota por meio dos dados não é manipulável, entretanto, geralmente alguma interatividade é possível, tal como velocidade de animação, direção (para frente ou para trás), e avançar quadro a quadro essa animação, o que dá a sensação de controlar o resultado final. Em alguns modelos tridimensionais é possíveis manipular a velocidade, a escala e outros atributos tipicamente de vôo, como determinar a inclinação da aeronave, virar para a esquerda ou para a direita ou ainda rotá-la ao longo do seu eixo principal.
- *Toggling*: É uma técnica que mostra mudanças entre períodos de tempo para ressaltar os detalhes das mudanças ocorridas, o que pode ser muito relevante

em algumas situações, como por exemplo, em modelos de crescimento urbano.

- Classificação (*Sorting*): Em alguns mapas interativos, os dados podem ser classificados ou ordenados de diversas maneiras pelo usuário e, isso pode trazer grandes vantagens na análise dos dados como, por exemplo, revelar algumas tendências que de outras maneiras ficariam ocultas.
- c) **Interatividade com dados (*Interactivity with the data*):** Essa categoria de interatividade enfoca os dados e, em geral, o seu nível de interatividade é alto, fazendo com que em grandes bases de dados torna-se crítico fazer a identificação, descobertas ou seleção desses dados. Quatro classes são apresentadas segundo o autor:
- Exploração de dados (*Database Querying and Data Mining*): A meta nesse tipo de interatividade é descobrir os modelos e tendências não explícitas, especialmente em grandes bases de dados (maior que um terabyte). A exploração é um processo de descoberta interativa e tem sido definida como uma extração de dados implícitos, desconhecidos e de informações úteis e, assumindo um dos aspectos fundamentais da geovisualização.
 - *Brushing*: O objetivo desse processo é explorar a correlação entre os modelos estatístico e geográfico. Uma ação de varredura pode ser feita sobre um mapa e todas as unidades de área que forem varridas vão tendo seus pontos críticos associados estatisticamente, como numa dispersão.
 - Filtragem (*Filtering*): Esse processo é caracterizado pela generalização, onde os dados podem ser excluídos, simplificados ou omitidos em sua apresentação. Através da filtragem, dados irrelevantes ou insignificante podem ser excluídos.
 - Realce (*Highlighting*): O realce, ou enfoque, dos dados tem o conceito oposto ao da filtragem, buscando realçar certos dados.
- d) **Interatividade com interação contextualizada (*Contextualizing Interaction*):** Essa categoria leva em consideração o contexto em que a informação aparece para que sua análise seja feita, isso não significa que tudo é relativo, mas enfatiza a importância das decisões a serem tomadas,

estruturadas em cada situação particular. Em diferentes contextos, os mesmos dados podem ser vistos de diferentes formas, o que vai ao encontro da meta da geovisualização, que é proporcionar ferramentas que sejam desenvolvidas e usadas para clarear os dados nos diferentes contextos e não necessariamente trazer a solução correta ao usuário. As classes que fazem parte desse tipo de interatividade são descritas a seguir:

- Múltiplas vistas (*Multiple views*): Um sistema que pode gerar várias vistas dos mesmos dados, simultaneamente ou seqüencialmente, conseqüentemente pode gerar melhores *insights* através da visualização desses dados. Ver os mesmos dados de diferentes maneiras pode evitar algumas informações que são implícitas na cartografia tradicional como, por exemplo, ter acesso a diferentes projeções na visualização de dados globais.
- Combinação de layers (*Combining data layers*): A combinação de *layers* de dados é bastante comum nos Sistemas de Informações Geográficas e geralmente caracteriza-se por combinar dados de dois ou mais *layers* com a finalidade de gerar um novo *layer*.
- Justaposição de janelas (*Window juxtaposition*): Diferentes janelas do sistema podem ser justapostas em ordem para visualizar diferentes perspectivas dos mesmos dados.
- Conexão (*Linking*): Através do *link* é feita uma conexão ou indexação entre um conjunto de dados e outro.

3 REALIDADE VIRTUAL

De acordo com MACHADO (1995), Realidade Virtual (RV) é um termo usado para descrever um conjunto de tecnologias e métodos capazes de permitir a integração sensitiva entre o usuário e o computador, de modo a proporcionar ao mesmo a máxima sensação de presença no mundo virtual. Em geral, refere-se a uma experiência imersiva e interativa baseada em imagens gráficas tridimensionais geradas por computador em tempo real. Um novo meio de visualizar e trabalhar informações, que visa convencer o usuário de que ele está em outra realidade através do uso de uma alta tecnologia.

Porém, vários outros conceitos são aceitos para o termo Realidade Virtual, visto que é uma área muito abrangente e está em constante evolução, com isso acadêmicos, desenvolvedores de programas e principalmente pesquisadores procuram definir Realidade Virtual baseados em suas próprias experiências. Entretanto, a maioria enfoca as idéias de imersão, interação e envolvimento com o sistema de Realidade Virtual.

A Realidade Virtual não é de fato uma realidade, mas uma simulação capaz de promover o efeito e a essência de realidade, gerada por processos computacionais, altamente interativos e que induzem a noção de tridimensionalidade aos objetos representados (HOSN e COSTA, 1999).

O sistema de realidade virtual possibilita ao usuário visualizar, manipular e explorar os dados do espaço virtual em tempo real, usando para isso os sentidos da visão, audição, tato, olfato, paladar, equilíbrio e orientação. Conseqüentemente, o conhecimento intuitivo do usuário a respeito do mundo físico, pode ser transferido para o ato de manipular o mundo virtual, o que é apresentado como uma das grandes vantagens desse tipo de interface, conforme relata HOSN e COSTA (1999).

No âmbito da Cartografia, a visão, a audição e a orientação são os sentidos com maiores potenciais de exploração, envolvendo o usuário para melhor entender e explorar os modelos representados.

Como visto anteriormente, a imersão e a interação são características de um sistema de RV. A imersão pode ser definida pela característica do usuário estar imerso num

ambiente virtual e cuja sensação de presença é total e leva a crer que o aplicativo está funcionando no ambiente tridimensional real. Entretanto, o grau de imersão é dado pelo uso de dispositivos que transmitem ao usuário a sensação de presença no mundo virtual, cuja atenção se fixa nesse ambiente e de alguma forma o isola do mundo exterior, permitindo a exploração e a manipulação natural de objetos virtuais (HOSN e COSTA, 1999).

Na Cartografia, essa imersão tem sido explorada através de telas e uso de capacetes, levando o usuário para dentro do mundo representado.

Por sua vez, a idéia de interação, refere-se à capacidade do computador de entender os comandos dados pelo usuário e responder instantaneamente às ações sobre o mundo virtual, ou seja, uma comunicação usuário-sistema, em tempo real, dada por meio de comandos usados para navegar dentro do mundo virtual (HOSN e COSTA, 1999).

Embora um verdadeiro sistema de RV, dotado de equipamentos e dispositivos que dêem total imersão e interação ao usuário ainda não seja comum do ponto de vista da Cartografia, isto pode ser apenas questão de tempo. As várias formas de RV poderão ser usadas em aplicações cartográficas, tanto para aquisição de informações, passeios virtuais ou treinamentos, entre outros. O que poderá ser desenvolvido em trabalhos futuros, transformando a linha divisória entre o real e o mundo virtual criado cada vez mais tênue.

Um sistema de Realidade Virtual permite a representação tridimensional das características espaciais das informações e a sua interação com o usuário, o que é extremamente útil no desenvolvimento de projetos de engenharia. Esses sistemas de RV diferem entre si de acordo com o nível de imersão e de interatividade proporcionado ao usuário. De forma que os níveis de imersão e interação são determinados de acordo com os tipos de dispositivos de entrada e saída de dados no sistema de RV e da velocidade e potência do computador utilizado (MACHADO, 1995).

3.1 HISTÓRICO

A Realidade Virtual começou na indústria de simulação quando, após a Segunda Guerra Mundial, a Força Aérea dos Estados Unidos deu início à construção de simuladores

de vôo (JACOBSON, 1994, p. 12). A indústria de entretenimento também teve um papel importante no surgimento da Realidade Virtual através do simulador Sensorama (Figura 3.1), uma espécie de cabine, criada por Morton Heilig em 1956 (KIRNER, 1997), que combinava filmes 3D, som estéreo, vibrações mecânicas, sensações de vento e de aromas num passeio simulado de motocicleta por Nova York.

FIGURA 3.1 – O SENSORAMA DE MORTON HEILIG, 1956



FONTE: HOSN e COSTA (1999).

Em meados da década de 60, Ivan Sutherland desenvolveu, pela Universidade de Utah, o primeiro videocapacete totalmente funcional para gráficos de computador, que tornava possível ao usuário ver através da movimentação de sua cabeça os diferentes lados de uma estrutura de arame na forma de um cubo flutuando no espaço (UNISUL,1996). Muitos autores adotam esta data como sendo o início da realidade virtual.

Segundo MACHADO (1995), nesta mesma época, Myron Krueger experimentava combinar computadores e sistemas de vídeo, criando Realidade Artificial na Universidade de Wisconsin, criando em 1975, o VIDEOPLACE, onde uma câmera de vídeo capturava a imagem dos participantes e projetava-a em 2D numa grande tela. Os participantes podiam interagir uns com os outros e com objetos projetados nessa tela, sendo que seus movimentos eram constantemente capturados e processados. Hoje, essa técnica é conhecida como Realidade Virtual de Projeção.

De acordo com UNISUL (1996), em 1982, Thomas Furness apresentou à Força Aérea Americana um simulador que imitava a cabine de um avião através do uso de computadores e videocapacetes interligados representando um espaço gráfico tridimensional. Conhecido como SuperCockpit, o VCASS (*Visually Coupled Airborne Systems Simulator*) possuía uma alta qualidade de resolução nas imagens e era bastante rápido na representação de imagens complexas. Através desse simulador os pilotos podiam aprender a voar e lutar em trajetórias com até seis graus de liberdade, sem decolar verdadeiramente e isolados do mundo ao seu redor, porém, milhões de dólares eram necessários apenas para o desenvolvimento do capacete.

Michael McGreevy, em 1984 na NASA (MACHADO, 1995), iniciou seus trabalhos no projeto VIVED (*Virtual Visual Environment Display*) usando visores de cristal líquido na produção de imagens estereoscópicas, de menor resolução se comparada ao VCASS, mas de custo atrativo. A parte de áudio e vídeo foi então montada sobre uma máscara de mergulho utilizando dois visores de cristal líquido com pequenos auto-falantes acoplados. Depois, em 1985, Scott Fisher se junta a esse projeto objetivando incluir nele luvas de dados, reconhecimento de voz, síntese de som 3D, e dispositivos de *feedback* tátil (UNISUL, 1996).

De acordo com UNISUL (1996), Thomas Zimmerman e Jaron Lanier fundam em 1985 a *VPL Research*, tendo como primeiro produto uma luva de dados, chamada *DataGlove* (Figura 3.2), desenvolvida por Zimmerman e capaz de captar a movimentação e inclinação dos dedos da mão. No mesmo ano uma dessas luvas foi comprada para o projeto VIVED.

FIGURA 3.2 – LUVA DE DADOS DATAGLOVE



FONTE: MACHADO (1995)

No final de 1986 a NASA já possuía um ambiente virtual que permitia aos

usuários ordenar comandos pela voz, escutar fala sintetizada e som 3D, além de manipular objetos virtuais diretamente através do movimento das mãos (UNISUL, 1996).

A conscientização de que os empreendimentos da NASA baseavam-se em equipamentos comercializáveis deu início a inúmeros programas de pesquisa em Realidade Virtual no mundo inteiro. Organizações, variando de firmas de *software* até grandes corporações de informática, começaram a desenvolver e vender produtos e serviços ligados à Realidade Virtual. Em 1989 a AutoDesk apresentava o primeiro sistema de Realidade Virtual baseado num computador pessoal (MACHADO, 1995).

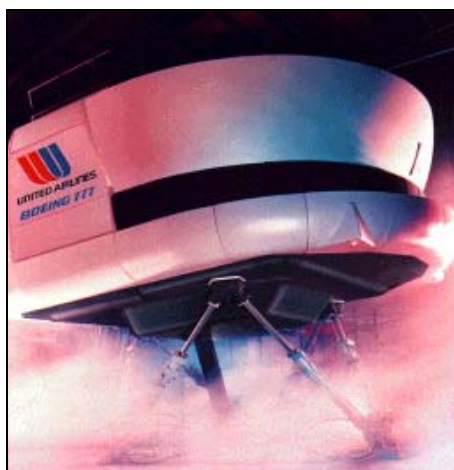
3.2 FORMAS DE RV

As formas de RV também são classificadas de maneiras distintas segundo diferentes profissionais da área, entretanto, as formas mais comuns e geralmente citadas são a RV de Simulação, RV de Projeção, Realidade Realçada, Telepresença, Dispositivos Visualmente Casados e RV de Mesa.

3.2.1 RV de Simulação

A RV de Simulação originou-se com os simuladores de vôo desenvolvidos pelos militares americanos depois da Segunda Guerra Mundial e é considerada o tipo mais antigo de sistema de RV. Neste sistema de RV o participante encontra-se dentro de uma cabine com controles que buscam imitar o interior de um carro ou avião, onde telas de vídeo e monitores apresentam um mundo virtual que reage aos comandos do usuário. Uma vez que o sistema de RV de Simulação não processa imagens em estéreo, as imagens aparecem de forma bastante rápida. Em alguns sistemas as cabines são montadas sobre plataformas móveis e também dispõem de controles dotados de *feedback*, que é uma espécie de realimentação dada ao sistema através da manipulação de dispositivos de entrada de dados (HOSN e COSTA, 1999). A Figura 3.3 apresenta o simulador de vôo do *Boeing 777*, considerado uma das mais sofisticadas aplicação de RV, com plataforma móvel, som 3D e controles com *feedback* de força, entre outros recursos (MACHADO, 1995).

FIGURA 3.3 – O SIMULADOR DE VÔO DO BOEING 777



FONTE: HOSN e COSTA (1999)

3.2.2 RV de Projeção

Na RV de Projeção, também conhecida como Realidade Artificial, o usuário está fora do mundo virtual, mas pode se comunicar com personagens ou objetos dentro dele (MACHADO, 1995).

3.2.3 Realidade Realçada

A Realidade Realçada é uma combinação da visão do mundo real com o ambiente virtual, utilizando para isso dispositivos visuais transparentes presos à cabeça, chamados *heads-up-displays (HUDs)*, nos quais os dados são projetados. Pelo fato dos *HUDs* serem objetos transparentes, é possível ao usuário ver dados, diagramas, animações e gráficos 3D sem deixar de enxergar o mundo real, tendo informações sobrepostas a este. Assim o usuário desse sistema pode estar no ambiente real e observá-lo com alguns dados extras, além dos de fato existentes, inseridos através dos óculos (MACHADO, 1995).

Também é possível explorar a RV Realçada coletando a imagem do mundo real com uma câmera de vídeo e adicionar a ela os elementos virtuais antes de ser apresentada ao usuário. Porém, o ponto crítico desse sistema é sobrepor de forma exata ao mundo real as informações virtuais acrescentadas.

3.2.4 Telepresença

Este tipo de RV utiliza câmeras de vídeo e microfones remotos para envolver e projetar o usuário intensamente no mundo virtual. Pesquisas nessa área têm sido desenvolvidas principalmente para o controle de robôs, exploração planetária e aplicações médicas (MACHADO, 1995).

3.2.5 Dispositivos Visualmente Casados

Esta classe de sistemas exhibe as imagens diretamente ao usuário, que está olhando em um dispositivo que deve acompanhar os movimentos de sua cabeça. Os sensores ligados a este dispositivo detectam a movimentação da cabeça do usuário e usam esta informação para realimentar a imagem exibida (MACHADO, 1995).

3.2.6 RV de Mesa

Segundo HOSN e COSTA (1999), nesta forma de RV podem ser utilizados monitores ou algum sistema de projeção para apresentação do mundo virtual (Figura 3.4). Alguns sistemas permitem ao usuário ver imagens 3D no monitor através do uso de óculos especiais ou obturadores de cristal líquido (OCL).

FIGURA 3.4 - SISTEMA DE RV DE MESA



FONTE: HOSN e COSTA (1999).

Os objetos que constituem esses mundos podem ser movimentados para frente ou para trás, para cima ou para baixo, ou para esquerda ou direita. Adicionalmente, os objetos também podem girar ao redor desses eixos principais, chamados movimentos de rotação.

Assim, grande parte dos sistemas de RV utiliza dispositivos de entrada de dados que permitem movimentos de até 6DOF (*Degree Of Freedom*), ou seja, seis graus de liberdade, proporcionando assim, uma maior sensação de imersão no mundo virtual (MACHADO, 1995).

3.3 DISPOSITIVOS DE ENTRADA DE DADOS

De acordo com HOSN e COSTA (1999) e ADAMS (1994, p. 257), experiências de RV podem ser passivas, exploratórias ou interativas. Em experiências passivas, os usuários observam o mundo virtual com movimentos muito limitados e não têm controle algum. O programa é inteiramente responsável pela rota e pelos pontos de vistas. Em aplicações exploratórias, os usuários enxergam os objetos virtuais, podendo caminhar com eles e ao seu redor, explorando a vizinhança virtual. Ou seja, o usuário explora o ambiente tridimensional escolhendo a rota e as vistas, porém ele não é capaz de interagir com as entidades contidas na cena 3D e necessita de um rastreador em sua cabeça. O modo interativo é o mais complexo e oferece uma experiência imersiva. Nele, os usuários podem interagir com o mundo virtual, alcançar e agarrar objetos, “voar” sobre a cena e determinar o caminho a ser percorrido. No modo interativo são necessários dispositivos de entrada mais complexos.

Segundo MACHADO (1995), os dispositivos de entrada de dados podem ser divididos em dispositivos de interação e dispositivos de trajetória. São vários os tipos de dispositivos de interação, sendo que cada um deles possui suas finalidades. A escolha do dispositivo de interação mais adequado deve levar em conta a finalidade do sistema e o programa a ser utilizado, pois a sua eficiência vai depender da capacidade do programa de aproveitar as características do dispositivo.

a) Dispositivos de Interação

Dentre os dispositivos de interação disponíveis atualmente no mercado podemos citar a luva de dados, utilizada para capturar o movimento das mãos e dedos do usuário,

mouses, joysticks, teclados e outros (MACHADO, 1995).

b) Dispositivos de Trajetória

Segundo MACHADO (1995), muitos dos dispositivos de interação mencionados acima contam com um dispositivo responsável pela tarefa de detecção ou rastreamento da trajetória, conhecido como dispositivo de trajetória ou rastro.

A maioria das aplicações que utilizam detecção de trajetória faz uso de pequenos sensores colocados sobre as partes do corpo ou sobre o objeto para rastreá-los, recebendo o nome de rastreamento ativo (*tracking* ativo). Dispositivos de trajetória e dispositivos de interação com 6DOF utilizam técnicas eletromagnéticas, ultra-sônicas, mecânicas ou óticas para fazer a medida dos movimentos. Como alternativa, o rastreamento passivo (*tracking* passivo) utiliza câmeras ou sensores óticos ou de inércia para observar o objeto e determinar sua posição e orientação. Diferente dos dispositivos que utilizam rastreamento ativo, os dispositivos de rastreamento passivo utilizam apenas um sensor para rastrear o objeto (MACHADO, 1995).

3.4 DISPOSITIVOS DE SAÍDA DE DADOS

Os dispositivos visuais são os equipamentos que apresentam, para os olhos do usuário, um mundo gerado por computador em três dimensões. O grau de imersão dado por um sistema de RV depende diretamente da tela de vídeo usada como a interface.

Os sistemas de RV podem ser monoscópicos ou estereoscópicos, ou seja, cada um dos olhos pode visualizar ou não imagens diferentes. No caso de um sistema monoscópico, a mesma imagem passa pelo processo de representação e é exibida para os dois olhos. Já no sistema estereoscópico, cada olho vê uma imagem ligeiramente diferente, de modo que é necessário um processo de representação para cada uma das imagens, exigindo do *hardware* o dobro de potência para processamento da imagem.

Segundo MACHADO (1995), existem duas classes de dispositivos visuais, a primeira é composta pelos videocapacetes e *head-coupled displays*, enquanto a segunda é

composta pelos monitores de computador e sistemas de projeção. O que diferencia estas duas classes é que na primeira existem sensores para os movimentos do usuário ligados ao dispositivo visual, enquanto que na segunda isso não ocorre e tudo vai depender dos comandos do usuário via outro dispositivo de entrada.

3.4.1 Videocapacetes

O videocapacete (HMD) é constituído de duas minúsculas telas de televisão e um conjunto de lentes especiais (Figura 3.5). O videocapacete funciona também como um dispositivo de entrada de dados porque contém sensores de rastreamento que medem a posição e orientação da cabeça transmitindo esses dados para o computador. Assim, o computador gera uma sequência de imagens por quadro, correspondentes às ações e perspectiva do usuário.

FIGURA 3.5 - HMD



FONTE: MACHADO (1995)

3.4.2 Head-Coupled Display

É um aparelho que fica montado permanentemente diante do usuário, sobre um braço mecânico e com um contra-peso, o que facilita a interação entre a visualização do mundo virtual e os comandos via teclado, mouse e outros dispositivos que possam controlar a simulação. Os sensores ligados ao braço mecânico e os controles presentes próximos ao dispositivo permitem movimentos com 6DOF. A Figura 3.6 ilustra um tipo deste aparelho (HOSN e COSTA, 1999).

FIGURA 3.6 - ESTAÇÃO DE TRABALHO EQUIPADA COM HCD



FONTE: HOSN e COSTA (1999)

3.4.3 Monitores e Sistemas de Projeção

Dispositivos visuais baseados em monitores e sistemas de projeção geralmente não oferecem um alto nível de imersão. Além disso, o usuário precisa estar constantemente olhando para a tela e utilizar algum dispositivo de entrada para fazer sua movimentação pelo mundo virtual.

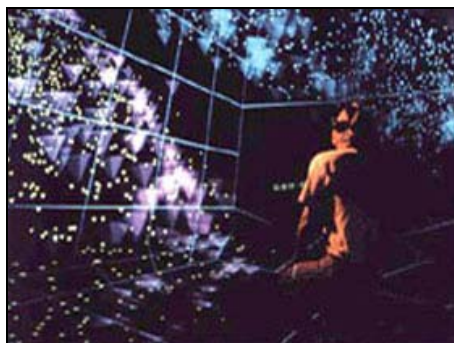
De acordo com MACHADO (1995), o sistema de projeção pode ser classificado como baseado em projeção de tela simples ou projeção de telas múltiplas. Geralmente o sistema de tela simples usa a metáfora da mesa coberta (Figura 3.7), no qual objetos virtuais mostram-se posicionados na superfície da mesa, ou a metáfora da janela, no qual o visor atua como uma grande janela aberta no espaço virtual. O sistema de projeção em telas múltiplas (Figura 3.8) tem sido muito explorado desde seu início pela indústria do entretenimento, onde o observador pode estar num local e ser completamente coberto por imagens, dando a impressão de estar sendo parte da cena projetada. Segundo o mesmo autor, a grande vantagem do sistema de projeção é a utilização de óculos, que permitem que várias pessoas participem da mesma experiência de RV e o seu custo também é inferior ao de um HMD.

FIGURA 3.7 - RV ATRAVÉS DE MONITOR



FONTE: HOSN e COSTA (1999).

FIGURA 3.8 - SISTEMA DE PROJEÇÃO EM TELAS MÚLTIPLAS



FONTE: HOSN e COSTA (1999).

Além dos dispositivos visuais, existem ainda os dispositivos auditivos, que realizam conceitos de som 3D, com o objetivo de proporcionar uma sensação de imersão ao usuário e dispositivos físicos que procuram estimular as sensações físicas, como a temperatura, o tato e a tensão muscular. Diferente dos dispositivos de saída de visão e audição, os dispositivos físicos requerem uma sofisticada interação eletromecânica com o corpo do usuário.

3.5 MODELAGEM DOS MUNDOS VIRTUAIS NA INTERNET

O grande avanço tecnológico ocorrido nos últimos anos tornou os computadores pessoais mais rápidos e poderosos, o que permitiu o usuário comum usufruir alguns benefícios da Realidade Virtual, que antes era restrita apenas aos grandes centros de pesquisa. A VRML (*Virtual Reality Modeling Language*), criada com o propósito de armazenamento de modelos 3D, tornou-se uma linguagem de modelagem de mundos virtuais que tem por objetivo levar ao usuário comum a RV através da Internet. Esta

linguagem é independente de plataforma, de modo que permite a criação de ambientes virtuais por onde se pode navegar, visualizar objetos de diferentes ângulos e interagir com eles.

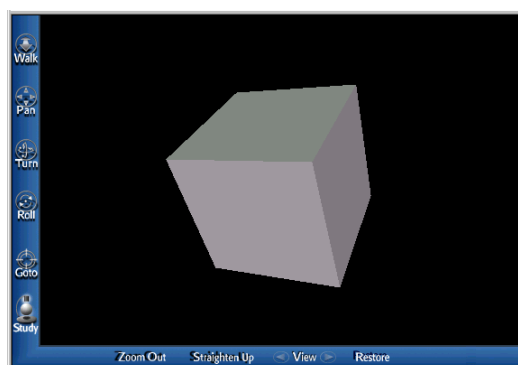
Segundo MACHADO (1995), a VRML é uma linguagem de alto nível para descrição de cenas e ambientes interativos em 3D, ou seja, uma linguagem de programação de mundos virtuais para RV que permite a criação de ambientes virtuais e a interação com esses. Essa linguagem armazena apenas dados geométricos e informações matemáticas para modelagem das feições e fenômenos que compõem o mundo real, o que permite a visualização desses mundos de forma totalmente interativa em tempo real, utilizando arquivos considerados pequenos e equipamentos de baixo custo.

Os arquivos VRML têm a extensão .wrl (ou ainda .vrm, .wrz ou .wrl.gz). Esses arquivos podem ser editados em qualquer editor de texto e têm formato análogo aos arquivos HTML (*HyperText Markup Language*). A Figura 3.9 apresenta um arquivo ASCII no padrão VRML 2.0 para a representação de um cubo. Em seguida, a Figura 3.10 ilustra este objeto.

FIGURA 3.9- ARQUIVO .WRL

```
#VRML V2.0 utf8
#Exemplo - Cubo
Shape {
  appearance Appearance {
    material Material {}
  }
  geometry Box {
    size 2 4 3
  }
}
```

FIGURA 3.10 - CUBO



Essa linguagem foi apresentada pela primeira vez durante a *Second International Conference on the WWW*, em outubro de 1994, em Chicago, e foi denominada como VRML 1.0, e herdou, em grande parte, o formato do *software Open Inventor* da *Silicon Graphics* (CARRARD, 2001).

Os mundos virtuais criados nessa versão eram de interação muito limitada. Com a necessidade de dar animação, interação e modelagem comportamental às geometrias criadas, em agosto de 1996 foi lançado no SIGGRAPH, em Nova Orleans (EUA), uma nova versão da linguagem denominada *Moving Worlds VRML 2.0* (PESSOA e ARAÚJO FILHO, 1999). No ano seguinte, após algumas modificações, a *International Standards Organization (ISO)* aprovou essa linguagem como padrão e que então passou a ser chamada de VRML 97.

Um mundo VRML é um conjunto de objetos que pode conter geometrias, sons, imagens, etc. Esses objetos são denominados nós (ou nodos) e são organizados em estruturas hierárquicas chamadas *scene graphs*, onde uma ordem é definida para os nós. Em uma *scene graph*, os nós que aparecem antes afetam os posteriores. Porém, uma parte da *scene graph* também pode ser isolada da outra através de nós separadores, o que delimita o efeito citado anteriormente (SIBGRAPI, 1997)¹⁴.

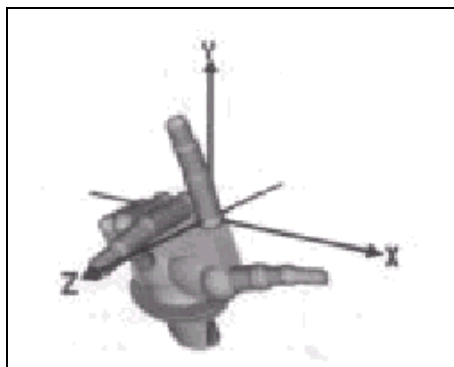
Quando um arquivo VRML é acionado, o visualizador é carregado pelo *browser*, tornando possível a visualização e navegação do mundo tridimensional criado. Para isto, é necessário que se instale um *plug-in* adequado. Atualmente, existem alguns visualizadores disponíveis para diferentes plataformas, sendo que os mais usados são o Cosmo Player (Netscape) e o VRML 2.0 Viewer (Internet Explore).

No mundo VRML a unidade de medida é o metro e o ângulo é medido em radianos. O modelo de cores é o RGB, com valores normalizados entre zero e um. O sistema de coordenadas é o cartesiano, seguindo a regra da mão direita, ou seja, um sistema dextrógiro, onde inicialmente os objetos são projetados na direção positiva do eixo Z, como se estivesse saindo do monitor, com a direção positiva do eixo X para a direita e a direção

¹⁴ SIBGRAPI 97: **Curso básico de VRML**. Campos do Jordão, 1997. Notas de aula. Comunicação informal.

positiva do eixo Y para cima (Figura 3.11). Os objetos criados são por *default* inicialmente posicionados no centro da tela, na posição (0,0,0).

FIGURA 3.11 - SISTEMA DE COORDENADAS ADOTADO PELA VRML



FONTE: CARRARD (2001)

Como qualquer linguagem gráfica, a VRML também é baseada no uso de primitivas gráficas. Segundo PESSOA e ARAÚJO FILHO (1999), o ponto, o segmento, a polilinha, o polígono, o arco de elipse, as áreas e as componentes textuais, são as primitivas geométricas usadas para descrever os desenhos bidimensionais. Porém, nesse caso, para descrição dos mundos tridimensionais, os objetos possuem volume. Assim, as primitivas geométricas definidas na VRML são: a caixa, o cone, o cilindro e a esfera, que por *default* são sólidas. Porém, pontos e linhas também são facilmente representados.

Já a componente textual, é pouco usada no mundo VRML, uma vez que a VRML é uma linguagem de modelagem de objetos tridimensionais e não é direcionada à produção de textos, mas esse recurso pode ser usado quando necessário.

O nó é o componente fundamental de uma cena em VRML e, segundo SILVA (1999) pode ser definido como abstrações dos objetos e conceitos do mundo real. Os nós contêm campos e eventos. Os principais tipos de nós que podem compor um arquivo VRML para a construção dos mundos virtuais são os nós de Aparência (definem o “visual” do objeto), os nós de Geometria (representado pelas primitivas geométricas e outras estruturas mais complexas) e os nós de Agrupamento (que agrupam e podem criar uma hierarquia de transformações que são herdadas dos nós pais para os nós filhos). A Figura 3.12 apresenta um arquivo com alguns nós e sua representação gráfica é dada na Figura 3.13.

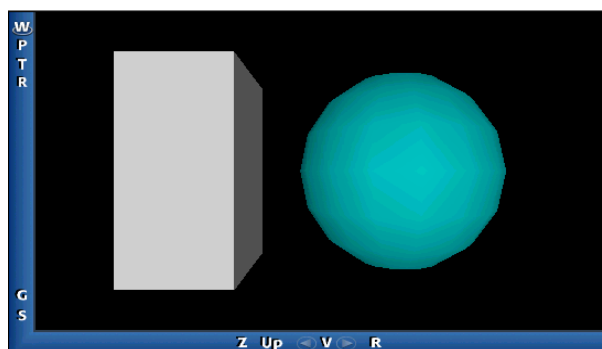
FIGURA 3.12 - ARQUIVO COM NÓS DE AGRUPAMENTO, APARÊNCIA E GEOMETRIA

```

#VRML U2.0 utf8
#Exemplo - cubo/esfera
Shape {
  appearance Appearance {
    material Material {}
  }
  geometry Box {
    size 2 4 3
  }
}
Transform {                                # Nó de agrupamento
  translation 4 0 0
  children [
    Shape {
      appearance Appearance {              # Nó de aparência
        material Material {
          diffuseColor 0.0 0.8 0.8
        }
      }
      geometry Sphere {                     # Nó de geometria
        radius 2.0
      }
    }
  ]
}

```

FIGURA 3.13 - ILUSTRAÇÃO DO ARQUIVO DA FIGURA ANTERIOR



Os eventos, por sua vez, são utilizados para a troca de mensagens de um nó para outro através de uma rota, que é a conexão entre o nó gerador do evento e o nó receptor do evento. Os eventos sinalizam mudanças nos valores dos campos como, por exemplo, estímulos externos e interações entre nós. O campo é o parâmetro usado para definir os atributos de um nó e, conseqüentemente, distinguir um nó de outro do mesmo tipo. Todo campo tem nome, tipo e um valor *default*. Também é possível acrescentar comentários no arquivo *.wrl* através de um texto seguido do caracter #.

3.5.1 Atribuição de cor a objetos VRML

Como já dito anteriormente, o modelo de cores RGB é adotado pela VRML, com valores normalizados entre zero e um. A Figura 3.14 ilustra a especificação das cores em

VRML, através de valores atribuídos às cores vermelha, verde e azul do sistema RGB. Na Figura 3.15 ilustra-se a variação em luminosidade e saturação do tom de cor vermelho.

FIGURA 3.14 – ATRIBUIÇÃO DE CORES EM VRML


















	Cores	R	G	B
	Vermelho	1.0	0.0	0.0
	Verde	0.0	1.0	0.0
	Azul	0.0	0.0	1.0
	Amerelo	1.0	1.0	0.0
	Ciano	0.0	1.0	1.0
	Magenta	1.0	0.0	1.0
	Branco	1.0	1.0	1.0
	Preto	0.0	0.0	0.0
	Cinza médio	0.5	0.5	0.5

FIGURA 3.15 – VARIAÇÃO EM LUMINOSIDADE E SATURAÇÃO EM VRML

	Cores	R	G	B
	Branco	1.0	1.0	1.0
		1.0	0.8	0.8
		1.0	0.6	0.6
		1.0	0.4	0.4
		1.0	0.2	0.2
	Vermelho	1.0	0.0	0.0
		0.8	0.0	0.0
		0.6	0.0	0.0
		0.4	0.0	0.0
		0.2	0.0	0.0
	Preto	0.0	0.0	0.0

Outras características relativas às cores podem ser atribuídas ou não aos objetos criados no mundo virtual. Em VRML, dois nós são responsáveis por determinar a cor de um objeto, o nó *Material* e o nó *Color*. O nó *Material* permite atribuir apenas uma única cor para a geometria descrita, além de definir alguns atributos e o brilho desse objeto, usando os seguintes campos (CARRARD, 2001, p. 83-85):

- *DiffuseColor* – Este campo especifica a cor do objeto atribuindo um valor de 0 a 1 às cores do sistema RGB (vermelho, verde e azul);
- *EmissiveColor* – Este campo pode simular uma fonte de luz, fazendo com que o objeto brilhe como se emitisse uma determinada luz, mas de fato não há produção de luz e nem sua vizinhança é afetada. Por *default*, não há emissão de luz;
- *Transparency* - Especifica o fator de transparência do objeto agregado ao nó *Material*, pode variar de 0 (objeto opaco) a 1 (objeto totalmente transparente), sendo que zero é o valor *default*;
- *SpecularColor* - Este campo mostra como o material que está sendo definido se comporta em relação a reflexão especular da luz, ou seja, a “polidez” do objeto. A cor *default* para este campo é o preto (0 0 0), oposta ao branco (1 1 1) que representa um objeto polido ao máximo. De forma mais geral, esta reflexão tende a agregar fortemente a cor da luz que a iluminou. Por outro lado, quando a superfície simular um metal, a tendência é a cor do material (*diffuseColor*) ganhar importância e contribuir mais fortemente para o resultado final;
- *Shininess* – Este campo controla o brilho do material, varia de 0, que dá a aparência de um objeto mais áspero e sem brilho, até o valor 1 (*default*), que caracteriza uma superfície moderadamente brilhante. Este campo é definido em conjunto com o campo *specularColor* para que não se anulem mutuamente;
- *AmbientIntensity* – O valor deste campo controla a maneira pela qual o material é afetado pelo nível de luz ambiente existente no mundo virtual, ou seja, controla de forma indireta a quantidade de luz que chega aos objetos (varia de 0, muito, a 1, pouco).

Através do nó *Color* é possível atribuir diferentes cores para diferentes partes da geometria descrita. Esse nó pode ser atribuído às geometrias descritas nos nós *ElevationGrid*, *IndexedFaceSet*, *IndexedLineSet* e *PointSet*. Se houver um conflito, a cor atribuída neste nó anula a cor atribuída (difusa) pelo nó *Material*.

Também é importante ressaltar que no mundo VRML os objetos não têm sombra, mas podem ser iluminados. Um nó de iluminação descreve como parte desse mundo deve ser iluminado e, por *default*, existe sempre uma luz que acompanha a posição do observador na cena (*HeadLight*). Porém, outros tipos de iluminação podem ser criados, como uma fonte de luz no infinito, que gera raios de iluminação paralelos (*DirectionalLight*), ou a fonte de luz pode ser posicionada em algum lugar do espaço (*PointLight*) e, desse ponto, irradiar luz em todas as direções, até uma distância determinada. Também se pode posicionar uma fonte de luz localizada no espaço e que irradia luz na forma de um cone (*SpotLight*), também definir a distância a ser atingida por esta luz.

A visualização tridimensional de um modelo além de propor uma interface mais amigável e atraente ao usuário, demonstra ser útil na execução de determinados projetos, porque permite uma análise qualitativa direta e mais intuitiva que os mapas convencionais, possibilitando até mesmo que usuários leigos e não ligados às áreas de Geoprocessamento e Cartografia possam interagir com as informações apresentadas. Ver o modelo de diferentes ângulos, poder acrescentar texturas e inserir objetos na cena, além de posicionar fontes de luz e acrescentar paisagens de fundo, andar ou sobrevoar o modelo com facilidade de interação, mostra que a Realidade Virtual tem um vasto campo de atuação na área da Cartografia.

Porém, devido a VRML ser uma linguagem de modelagem de mundos virtuais e não ter a preocupação de manter as características dos dados geográficos, surgiu a necessidade de ser implementado um conjunto de novos nós. Como resultado desta implementação foi criada a GeoVRML, a qual permite trabalhar com informações geográficas, e assim, manter as características necessárias para este tipo de aplicação.

3.5.2 GeoVRML - Representação de Dados Geográficos nos Mundos Virtuais

A GeoVRML é uma extensão da VRML criada para expandir as funções da linguagem e possibilitar aplicações geográficas. A GeoVRML é um conjunto de novos nós adicionados a VRML 97, que se originou de um grupo de discussão, criado em fevereiro de

1998 para estudar as necessidades de trabalhar dados geográficos tridimensionais na *web*. Em 2000, foi aceita oficialmente pela *Web3D Consortium* como GeoVRML 1.0. A *Web3D Consortium* é um grupo de pessoas que têm por objetivo desenvolver e implementar novas ferramentas através da Internet 3D (W3C, 2004).

Generalizando, o resultado destas discussões foram algumas funções que incluem nós de transformações geográficas, funções que definem um grau apropriado de detalhamento para uma determinada visualização, coordenadas e orientações relativas no espaço georeferenciado, “link” entre objetos bidimensionais, superfícies interpoladas e o uso de texturas georeferenciadas. O Quadro 3.1, apresentado a seguir, descreve sucintamente alguns dos nós que formam a GeoVRML 1.0.

QUADRO 3.1 - DESCRIÇÃO DOS NÓS GEOVRML 1.0

Nó	Descrição
GeoCoordinate	Constrói geometrias usando coordenadas geográficas.
GeoElevationGrid	Define uma malha formada por coordenadas geográficas.
GeoInline	Habilita um link que controla o carregamento e descarregamento de dados.
GeoLocation	Georeferencia um modelo VRML sobre a superfície da Terra.
GeoLOD	Administra o nível de detalhe para visualização de terrenos em múltiplas resoluções.
GeoMetadata	Inclui um subconjunto genérico de metadados sobre os dados geográficos.
GeoOrigin	Especifica um sistema de coordenadas local.
GeoPositionInterpolator	Anima objetos dentro de um sistema de coordenadas geográficas.
GeoTouchSensor	Retorna a coordenada geográfica do objeto tido como ponteiro.
GeoViewpoint	Especifica pontos de vista através de coordenadas geográficas.

FONTE: IVERSON e REDDY (2000).

NOTA: Traduzido pela autora.

O nó *GeoElevationGrid* leva em consideração a curvatura da Terra, que pode ter suas coordenadas no sistema latitude/longitude ou UTM (Universal Transverso de Mercator), as quais serão convertidas para um modelo elipsoidal pelo nó. O nó *GeoCoordinate* possibilita que as coordenadas a serem usadas estejam num sistema de coordenadas geográfico, permitindo usar outros nós, especificados na VRML e que usam o sistema cartesiano, como *IndexedFaceSet*, *IndexedLineSet* ou *PointSet*, sejam usados. Usando o nó *GeoLocation* é possível posicionar e orientar corretamente um modelo num sistema global. Esse nó assegura que um modelo construído com VRML esteja posicionado na Terra de forma a se alinhar corretamente à superfície do planeta.

A meta da GeoVRML é permitir ao usuário trabalhar com dados geográficos. De

acordo com IVERSON e REDDY (2000), a GeoVRML sustenta três sistemas de coordenadas, vinte e um elipsóides e um geóide. Ainda segundo os autores, a simples precisão dada pela VRML 97, que às vezes é insuficiente para determinados trabalhos geográficos, pode ser estendida e chegar a posições de precisão milimétrica através da utilização de um de seus nós. Também é possível o carregamento dos dados proporcionalmente ao ponto de vista, generalizando e apresentando somente as informações necessárias. De acordo com o ponto de vista do usuário e o tamanho da tela a ser projetada a imagem, o aplicativo de visualização deve determinar automaticamente o nível de detalhamento a ser exibido em um dado momento.

Dentre as vantagens da GeoVRML, REDDY et al. (2000) citam:

- Suporta o sistema de coordenadas geográficas latitude/longitude e sistema de projeção UTM;
- Preserva os dados geográficos originais no arquivo VRML;
- Integra vários dados geográficos de diferentes fontes;
- Possibilita a navegação na *Web* com os mesmos navegadores usados pela VRML (com suporte Java);
- Inclui suporte para animação de dados usando coordenadas geográficas;
- Trabalha com a questão da precisão simples e ponto-flutuante.

Algumas ferramentas têm sido desenvolvidas para simplificar a criação de mundos virtuais utilizando a GeoVRML. Dentre as mais utilizadas, é possível citar o DEM2GeoEG, um programa do USGS (*United States Geological Survey*), usado para converter Modelos Digitais de Elevação (MDE) em arquivo VRML (Figura 3.16). Esse exemplo ilustra o poder da GeoVRML para integração e visualização tridimensional de dados geográficos em grande escala. Uma de suas vantagens é a integração de vários DEMs corretamente alinhados, além de preservar as coordenadas UTM do arquivo VRML, e apresenta corretamente a curvatura da Terra (REDDY et al., 2000).

FIGURA 3.16 – EXEMPLO DE MDE GERADO ATRAVÉS DO DEM2GEOEG COM UMA IMAGEM MATRICIAL SOBREPOSTA COMO TEXTURA



FONTE: REDDY et al. (2000).

Segundo IVERSON e REDDY (2000), são notáveis os avanços decorrentes da GeoVRML 1.0, porém, algumas limitações ainda existem e poderão ser supridas numa versão futura da GeoVRML, como por exemplo, a utilização de mais de um sistema de coordenadas local, o processamento direto de orto-retificação de imagens e o acréscimo de outros sistemas de coordenadas geográficas, entre outros.

Ainda deve ser registrado que os usuários podem cooperar e ajudar no desenvolvimento dessa linguagem, já que o código fonte da GeoVRML 1.0 é aberto à comunidade e encontra-se disponível na Internet, permitindo que qualquer pessoa os acesse, o que é uma forma prática da linguagem estar sempre em constante desenvolvimento.

4 EXEMPLOS DE APLICAÇÕES DA RV NA CARTOGRAFIA

Os primeiros trabalhos com RV na Cartografia mostram o direcionamento para um grande realismo, provendo uma representação direta do mundo real, relata MOORE (1999, p.205). Porém, essa representação é deficiente e nunca idêntica ao mundo real, já que é modelado apenas aquilo que é observado. Entretanto, segundo o mesmo autor, a RV oferece uma série de benefícios para representar informações geográficas. As três dimensões podem prover uma organização de objetos espaciais mais intuitiva que reproduz ou reflete o mundo real utilizando a percepção natural e memória do usuário, no que diz respeito ao espaço e suas relações espaciais. A interatividade e dinamismo da RV podem também estimular a atração e o entendimento do usuário sobre o mundo real. A RV relata a natureza multidimensional dos dados geográficos tais como no ambiente urbano, estruturas geológicas e processos geomorfológicos.

De acordo com MOORE (1999, p. 205), muito pode ser aprendido e utilizado da Cartografia bidimensional para o novo processo de modelagem de dados geoespaciais com RV, tal como os métodos para abstração e generalização de dados, ao mesmo tempo em que novas idéias são exploradas e metodologias desenvolvidas para assegurar um ambiente útil e importante para visualização e representação de dados cartográficos. Ainda segundo o mesmo autor, certamente existe uma necessidade em comum entre ambos modelos, que é a visualização de um valor cognitivo através de múltiplas representações de dados, mas que também satisfaça a mais básica necessidade do conhecimento humano, a localização espacial.

A Figura 4.1 ilustra um modelo de criado em RV bastante complexo representando a cidade de Los Angeles.

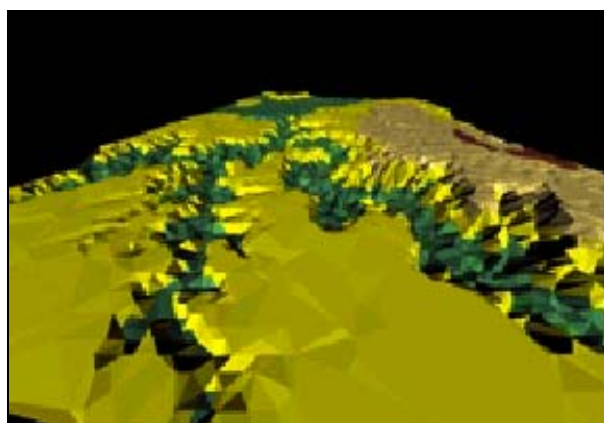
FIGURA 4.1 – LOS ANGELES VIRTUAL



FONTE: PIMENTEL et al. [2000].

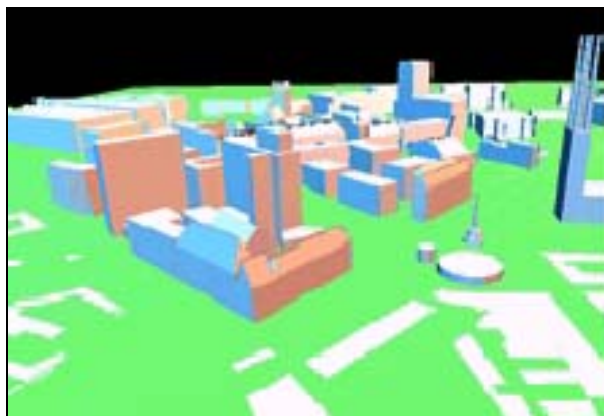
DYKES et al. [1998] apresentam alguns exemplos de aplicações cartográficas usando os ambientes virtuais como ferramenta de comunicação e visualização. Dentre esses exemplos é citado o modelo de Rhyne e Fowler (Figura 4.2) e Fairbairn e Parsley (Figura 4.3), que permitem ao usuário exagerar verticalmente o modelo para melhor entender o tema apresentado.

FIGURA 4.2 – EXEMPLO DE VRML NA CARTOGRAFIA, MODELADO POR RHYNE E FOWLER



FONTE: DYKES et al. [1998].

FIGURA 4.3 – EXEMPLO DE VRML NA CARTOGRAFIA, MODELADO POR FAIRBAIRN E PARSLEY



FONTE: DYKES et al. [1998].

MOORE (1999, p. 208) também relata que há um grande número de exemplos de modelagem de mundos virtuais que representam de forma bastante realista os ambientes urbanos, como os modelos das cidades de Nova York e Hong Kong. Muitos modelos têm todo o seu espaço construído, possibilitando até mesmo o acesso ao interior de seus prédios, gerando um novo espaço. Segundo o mesmo autor, a geração de um modelo urbano é relativamente rápida e fácil, sem dizer que hoje em vários programas de SIG e CAD estão sendo acrescentados a geração automática de modelos tridimensionais a partir de uma base de dados 2D, dentre os mais conhecidos tem-se como exemplos o MapInfo e o ArcView.

Para DYKES et al. [1998], a especificação da VRML e a rápida disponibilidade de *softwares* para interpretação têm proporcionado grande acesso aos modelos tridimensionais. A grande comunicação dos mapas realísticos e interativos permitido pela VRML tem popularizado esse tipo de mapa e aumentado a abstração, tal que representações mais realistas são esperadas e devem ser produzidas.

Além da VRML possibilitar uma representação mais próxima do real (mas não autêntica), se comparado ao método de representação tradicional, essa ferramenta permite evidenciar, ou ressaltar, algumas características relevantes a serem representadas pelo cartógrafo, utilizando o exagero vertical, o direcionamento de luz ou a adição de informação através de textos, por exemplo.

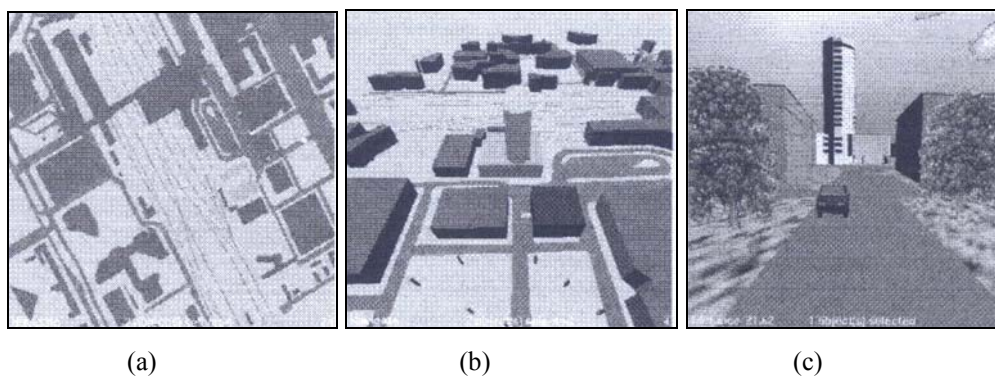
DANAHY (2000, p. 12), relata que a aproximadamente quinze anos, o CLR (*Centre for Landscape Research*) da Universidade de Toronto, tem desenvolvido avançados

softwares de visualização e banco de dados voltado ao planejamento e aplicação de *design* do mundo real. Segundo o mesmo autor, muitos planejadores estão usando mapas como base na geração de modelos virtuais, onde seus objetos podem ser vistos de diferentes perspectivas, tanto como se o usuário estivesse em posições de grande altitude ou caminhando próximo às fachadas das construções.

Num contexto maior, integrando SIG, CAD e RV, foi possível o desenvolvimento de um sistema chamado Karma-vI, desenvolvido e construído pelo *Department of Geodesy and Technical Informatics* da *Delht University of Technology* (DUT) juntamente com *Asset Information Systems*, na Nova Zelândia. Segundo MAREN e VERBREE (2000, p. 34), pesquisas têm mostrado o potencial desse sistema que associa SIG e RV, tornando possível a interação dos dados num ambiente virtual. No Karma-vI é possível ver os dados de três diferentes formas: uma vista do plano (*Plan view*), uma vista em perspectiva do modelo (*Model view*) e uma vista completa do mundo criado (*World view*).

KRAAK (2001) também sugere a combinação entre a interface bidimensional de um Sistema de Informações Geográficas e a interface tridimensional da Realidade Virtual, como mostra a Figura 4.4, extraída de um dos seus trabalhos.

FIGURA 4.4 – PLAN VIEW (a), MODEL VIEW (b) E WORLD VIEW (c)



FONTE: KRAAK (2001).

Na *Plan view* os dados geográficos são visualizados num mapa convencional, onde os objetos espaciais são representados por pontos, linhas e polígonos bidimensionais. Na *Model view*, os dados representados são visualizados mais facilmente, como se o objeto fosse tridimensional. Segundo KRAAK (2001), esta forma de representação é muito apropriada para manipular objetos individuais e requerida para o posicionamento e orientação dos mesmos. Objetos podem ser agrupados ou organizados por hierarquia ou camadas e manipulados através destas relações. A navegação neste ambiente é feita por movimentos denominados “*fly through*” e assemelha-se a um voo.

A *World view* representa a perspectiva que deveria ser vista por uma pessoa imergida no mundo virtual representado. Ou seja, o usuário vê o modelo de numa certa posição dentro do próprio modelo. Os objetos ganham uma impressão realista do ambiente, tanto visual como auditiva e os detalhes proporcionados pela textura realçam o fator realístico dado ao mapa urbano tridimensional. A imagem deve ser atualizada em tempo real para que seja mantido o ilusionismo da imersão e seja permitido o “*walk through*” (KRAAK, 2001).

Assim, segundo KRAAK (2001), a Realidade Virtual pode ser vista como uma interface de visualização e interação de dados geoespaciais de forma natural.

Para que o realismo de um modelo seja melhorado ainda mais, aplicações de imagens digitais, como fotografias aéreas do terreno ou fachadas dos prédios estão sendo empregadas como textura. De acordo com MOORE (1999, p. 208), dados como mapa de solos ou imagens de satélites também podem ser aplicados em modelos digitais de elevação e com isso proporcionar *insights* através da relação espacial dos diversos dados.

As fotos a serem usadas como textura das fachadas dos prédios, vegetação e outros elementos da paisagem urbana devem ser coletadas e retificadas. Desse modo, a fotogrametria tem se tornado uma técnica de grande importância na aplicação da visualização, devido à sua praticidade e custo acessível. Além disso, a fotogrametria também tem sido usada para geração de dados de qualidade, o que é mais uma questão a ser levada em consideração. Nesse caso, as técnicas fotogramétricas são usadas na descrição de geometrias, e a imagem original ainda pode ser inserida como textura na superfície ou

referenciada à pontos conhecidos (DANAHY, 2000, p. 15).

Ainda segundo DANAHY (2000, p. 15), pesquisadores da *Swiss Federal Institute of Technology* (ETHZ) desenvolveram um sistema denominado TOBAGO (*Topology Builder for the Automated Generation of Building Models*), que enfoca novas ferramentas e pesquisas na extração automática do formato de prédios, outras construções ou terrenos, capaz de criar o banco de dados necessário para o planejamento da visualização.

A extração das texturas das superfícies verticais dos prédios para os modelos virtuais exige muito tempo e é um obstáculo primário a ser superado. Às vezes, o problema está no tempo requerido para juntar modelo e textura. A possibilidade de uso de textura única repetida, como nos vídeo games, são muito pobres e não satisfazem as necessidades do planejamento. Ferramentas fotogramétricas como o Eos Systems PhotoModeler suprem algumas dessas necessidades (DANAHY, 2000, p.15).

Um exemplo da utilização do programa Photomodeler para modelagem tridimensional e Realidade Virtual é descrito no trabalho de LOPEZ et al. (2003), que tem por objetivo a restituição de sítios arqueológicos para sua documentação, registro e futuras restaurações. LOPEZ et al. (2003) descrevem uma metodologia usando o programa Photomodeler-Lite e o 3D Studio Max para restituir e depois exportar para VRML um modelo tridimensional e sua conseqüente disponibilidade na Internet através de uma página HTML.

Segundo POLLEFEYS e VAN GOOL (2000, p.12), um modelo virtual 3D também pode ser construído por uma seqüência de imagens. Para isso, é necessário que a câmera seja calibrada, tanto uma calibração interna quanto no que diz respeito a sua posição relativa e orientação para as diferentes vistas, e que haja pontos correspondentes entre as imagens.

A superfície do modelo 3D é construída por pequenas áreas triangulares com os vértices nas faces geométricas e nas intercessões de diferentes cores da imagem projetada como textura. A textura do mapa contribui muito para a aparência visual dos modelos e aumento de detalhes da superfície (POLLEFEYS e VAN GOOL, 2000, p. 13).

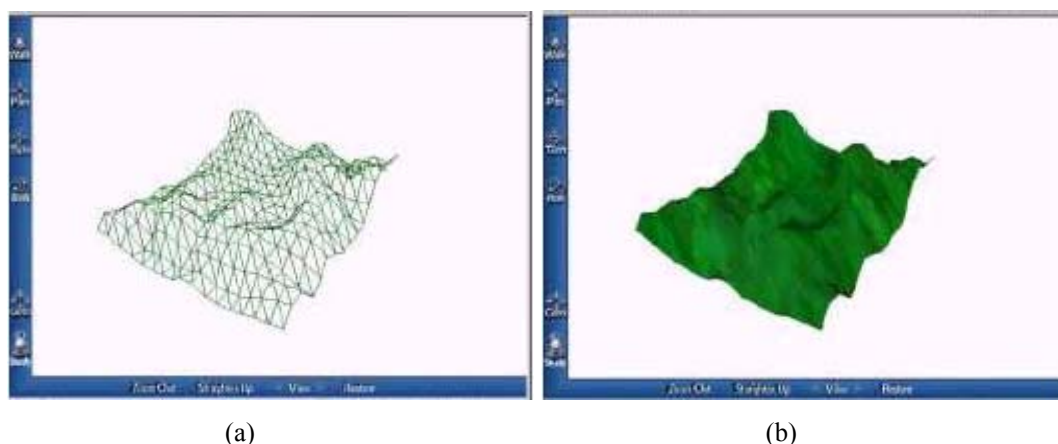
A técnica de aquisição de superfície 3D relatada por POLLEFEYS e VAN GOOL

(2000, p. 13) pode ser aplicada para visualização da própria cena, que consiste em gravar uma seqüência de imagens, que não deve ultrapassar 5 a 10 graus, entre cada mudança de ponto de vista consecutivo para que se tenha bom resultado. Uma importante vantagem é que detalhes pouco perceptíveis, porém que podem ser relevantes, são preservados, além disso, as texturas das superfícies são diretamente extraídas das imagens. Este resultado, não somente gera um alto grau de realismo, como também é importante para autenticidade de futuras reconstruções. Essa técnica de geração automática de modelos 3D também pode ser integrada a modelos CADs.

Outro benefício do uso da VRML é a representação de modelos digitais de elevação, com o aumento da interatividade do usuário, ampliando seu poder de visualização e permitindo a observação de detalhes que antes não eram suficientemente visíveis devido às limitações dos programas disponíveis no mercado (CAPRA e SAMPAIO, 1999).

SANTOS e CANDEIAS (2001) citam que há duas formas de descrever o relevo em VRML: em estrutura de arame e adicionando uma textura a essa estrutura. A textura pode ser uma fotografia ou uma imagem da região representada, ou qualquer grandeza mapeada em tons de cinza ou cores. O fato de esta linguagem permitir acrescentar efeitos de luz e sombras gera resultados bastante realistas. A Figura 4.5 exemplifica um modelo tridimensional do relevo em estrutura de arame (a) e com textura (b).

FIGURA 4.5 - VISUALIZAÇÃO DE UM MODELO TRIDIMENSIONAL EM ESTRUTURA DE ARAME (a) E COM TEXTURA (b)



FONTE: SANTOS e CALDEIAS (2001)

Segundo MOORE (1999, p. 206) o cartógrafo tem uma nova linguagem para a modelagem de dados espaciais, que traz várias vantagens, além do usuário poder participar

do mundo que ele vê e manipular a cena. Algumas dessas vantagens são citadas pelo autor e descritas a seguir:

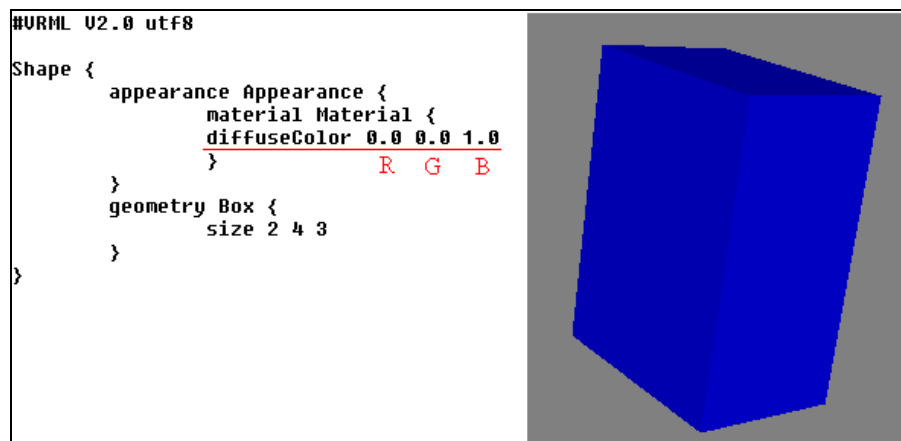
- Formas e volumes tridimensionais;
- Dimensão de tempo;
- Dinamismo, através da descrição ou simulação de movimento e comportamento;
- Interatividade;
- Múltiplos estímulos, através de som, luzes e tato;
- Uso de multimídia, com filmes, imagens e áudio;
- Mundos compartilhados, empregados para diferentes fins e por diferentes usuários.
- Novas propriedades de cores, como emissão, difusão e transparência;
- Novas variáveis na composição do ambiente, como luminosidade e neblina;
- Estabelecimento de pontos de vista, controlados ou pré-definidos pelo usuário.

Como visto, grande parte dos estudos estão sendo realizados no âmbito de construção de modelos realísticos, com aplicação de texturas extraídas diretamente dos objetos a serem representados, buscando chamar a atenção do usuário através do reconhecimento do ambiente, e em geral, objetivando apenas navegação. Porém, a geração de um modelo tridimensional com os mesmos objetivos de um mapa, com aplicação adequada das variáveis visuais, textos e simbologia, entre outros requisitos, ainda é pouco explorada.

5 CONSIDERAÇÕES SOBRE O USO DA VARIÁVEL VISUAL COR NA VRML PARA FINS CARTOGRÁFICOS

Como visto anteriormente, a VRML permite facilmente atribuir uma cor às geometrias descritas no modelo (Figura 5.1). O sistema de cor adotado por esta linguagem é o RGB, com valores normalizados entre zero e um, desse forma, com a combinação das cores vermelha (*red*), verde (*green*) e azul (*blue*) originam-se as demais cores, variando em tom, luminosidade e saturação. Porém, é necessário que alguns cuidados sejam tomados em relação à fonte de luz que ilumina este mundo virtual, a qual pode tanto auxiliar a comunicação cartográfica como também prejudicá-la.

FIGURA 5.1 – CUBO AZUL



A cor de um objeto pode ser visualmente modificada em função da fonte de luz existente neste mundo virtual. Assim como no mundo real o sol, uma lâmpada, uma lanterna, ou qualquer outra fonte de luz é necessária para iluminar o ambiente, o mundo virtual também necessita de uma fonte de luz para ser iluminado e assim, conseqüentemente, o usuário poder visualizar as informações representadas neste mundo virtual.

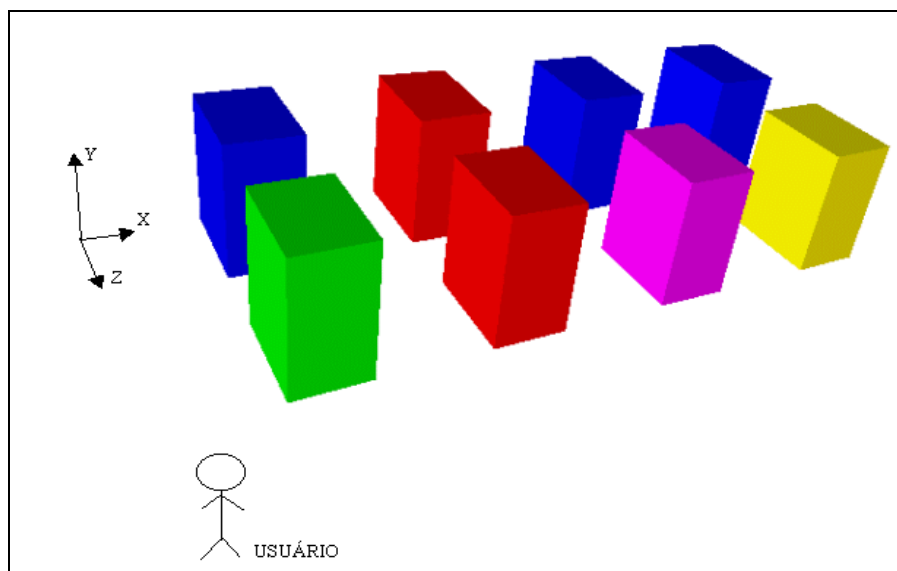
Em VRML há uma fonte de luz *default*, que é posicionada como se estivesse próxima à cabeça do usuário, como se ele usasse um capacete com uma lanterna e cada movimento seu fosse acompanhado pela mesma. Conseqüentemente, a parte da geometria que está de frente para a fonte de luz é mais iluminada, recebendo proporcionalmente menos luz as demais faces, e ocasionando com isso uma variação em saturação num mesmo objeto

de uma só cor.

Em algumas situações, uma fonte de luz específica pode trazer benefícios ao usuário, tais como focar algumas geometrias mais relevantes vistas a partir de um determinado ponto de vista. Por outro lado, também pode prejudicar a visualização da informação, principalmente quando for o caso de um ambiente que contém um número grande de geometrias de mesma cor num espaço proporcionalmente pequeno.

Um modelo, composto por prismas de diferentes tons de cor, foi gerado com a finalidade de demonstrar e avaliar a aplicação de diferentes fontes de luz que podem ser exploradas no ambiente VRML. Este modelo, iluminado pela fonte de luz *default* da VRML (*HeadLight*) é descrito a seguir. Esta fonte de luz *HeadLight* ilumina diretamente a face da geometria posicionada de frente para o usuário, por acompanhar a posição da sua cabeça, e, por consequência, as demais faces recebem proporcionalmente menos luz. A Figura 5.2 representa um esboço do modelo gerado, com os eixos do sistema e a posição do usuário.

FIGURA 5.2 – FONTE DE LUZ *HEADLIGHT*



O mesmo modelo é representado na Figura 5.3, porém é como se o usuário mudasse de posição, ficando exatamente na frente do mesmo. Nota-se mais claramente que há uma variação em saturação entre as faces diretamente iluminadas e as faces laterais dos prismas, que são menos iluminadas. Na Figura 3 o modelo é visto como se o usuário mudasse de posição a ponto de vê-lo como se o mesmo estivesse sido rotado aproximadamente 180° da posição original. E mais uma vez, pode ser percebido uma

variação em saturação entre as faces iluminadas de cada prisma.

FIGURA 5.3 – FONTE DE LUZ *HEADLIGHT* (POSIÇÃO FRONTAL)

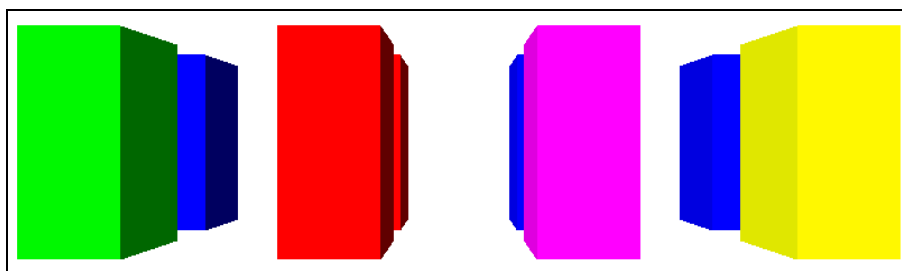
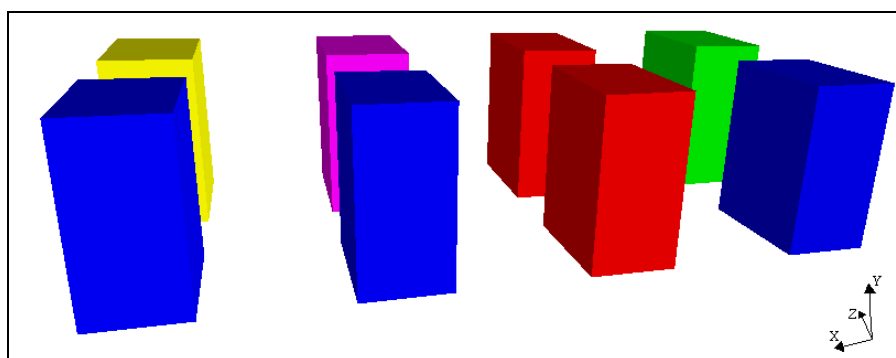
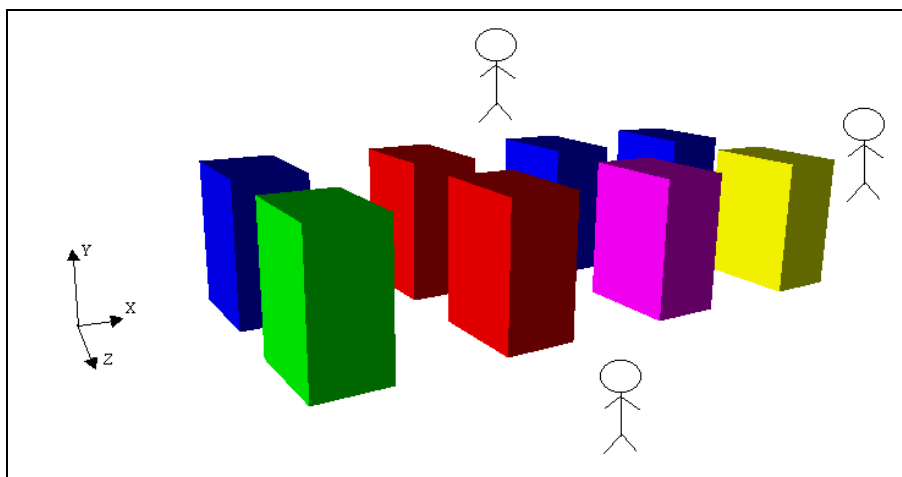


FIGURA 5.4 – FONTE DE LUZ *HEADLIGHT* (POSIÇÃO LATERAL OPOSTA)



A seguir, é representado o mesmo modelo das figuras anteriores, porém com o efeito de uma fonte de luz (*DirectionalLight*) posicionada no infinito e emitindo a luz na direção positiva do eixo x do sistema VRML. Assim, apenas as faces das geometrias voltadas para a direção da fonte de luz são iluminadas, independentemente do ponto de vista do usuário. Um esboço desse modelo é representado a seguir na Figura 5.5:

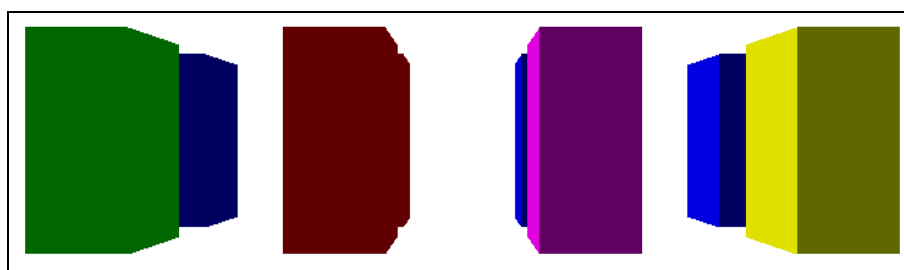
FIGURA 5.5 – FONTE DE LUZ *DIRECTIONALLIGHT*



Na Figura 5.6, o ponto de vista do usuário é de frente para o modelo (como

ilustrado na Figura 5.5) e como a fonte de luz está no eixo x, perpendicular ao ângulo de vista do usuário, este consegue ver apenas as faces iluminadas dos prismas que estão à sua direita. Nota-se, portanto, que não é possível visualizar as arestas dos prismas que estão à esquerda do usuário, como por exemplo, do prisma verde, o que pode ser relevante em algumas aplicações cartográficas. Ademais, geometrias de mesma cor podem tornar-se indistinguíveis, como é o caso dos dois prismas vermelhos, pois não há visualmente um limite entre as duas geometrias. Isso ocorre porque dependendo da posição que o modelo se encontra em relação à fonte de luz, mais de uma face pode receber quantidades iguais de iluminação e conseqüentemente empobrecer a noção de tridimensionalidade do objeto, perdendo os limites visuais entre as faces da geometria.

FIGURA 5.7 – FONTE DE LUZ *DIRECTIONALLIGHT* (POSIÇÃO FRONTAL)



Na Figura 5.8 e na Figura 5.9, o usuário muda seu ponto de vista e como a fonte de luz é fixa a quantidade de luz nas faces não se altera em função de sua posição. Por este motivo, na Figura 5.10 nenhuma face dos prismas pode ser vista, pois o modelo é visto do lado oposto à fonte de luz. Num caso como este, o usuário pode perder a noção de volume dos objetos representados.

FIGURA 5.8 – FONTE DE LUZ *DIRECTIONALLIGHT* (POSIÇÃO LATERAL A)

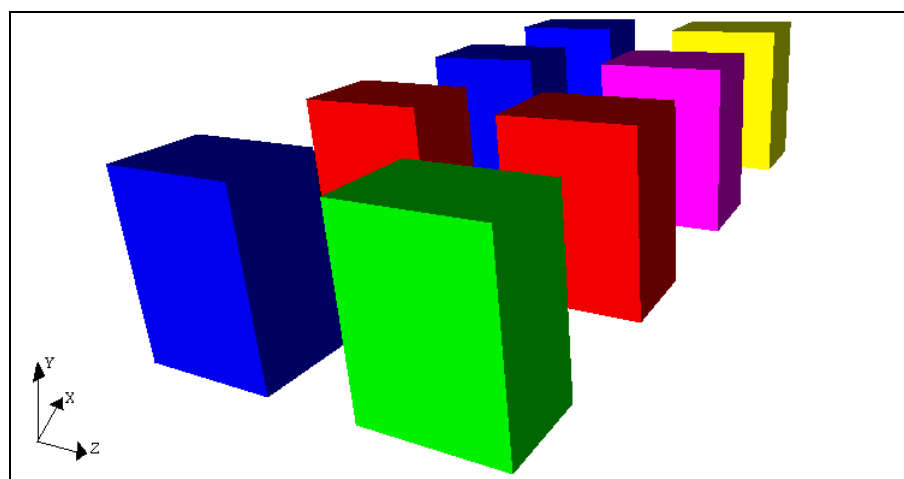
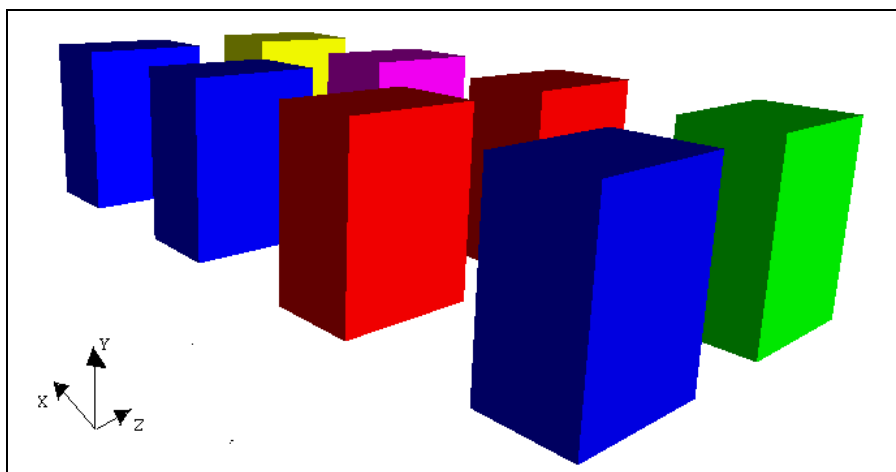
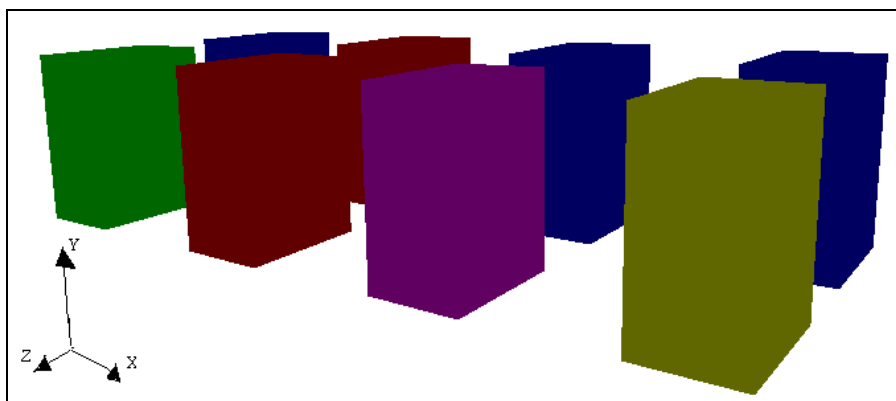
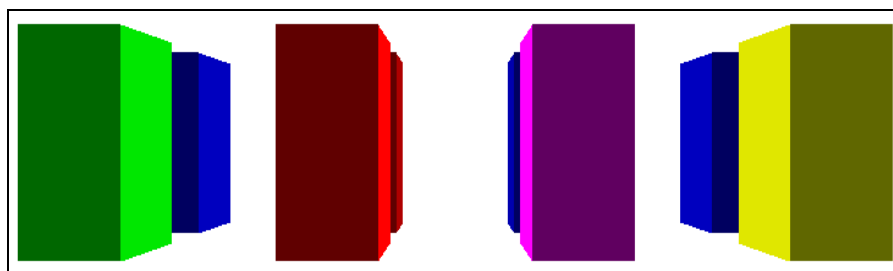
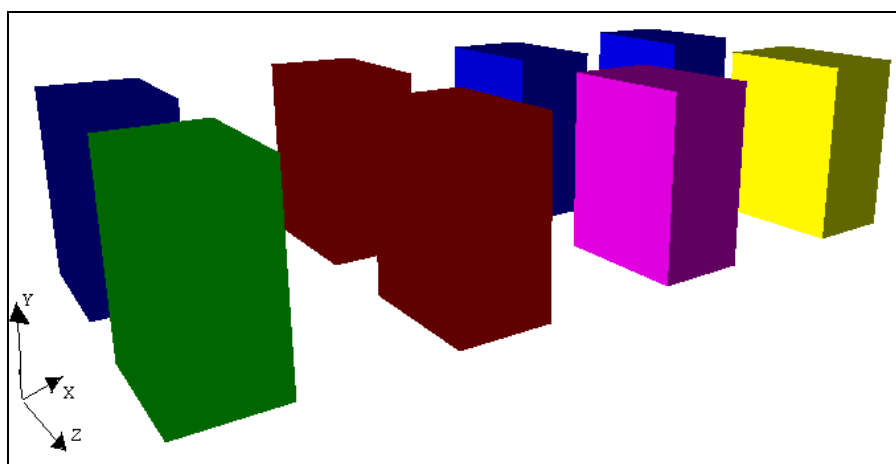
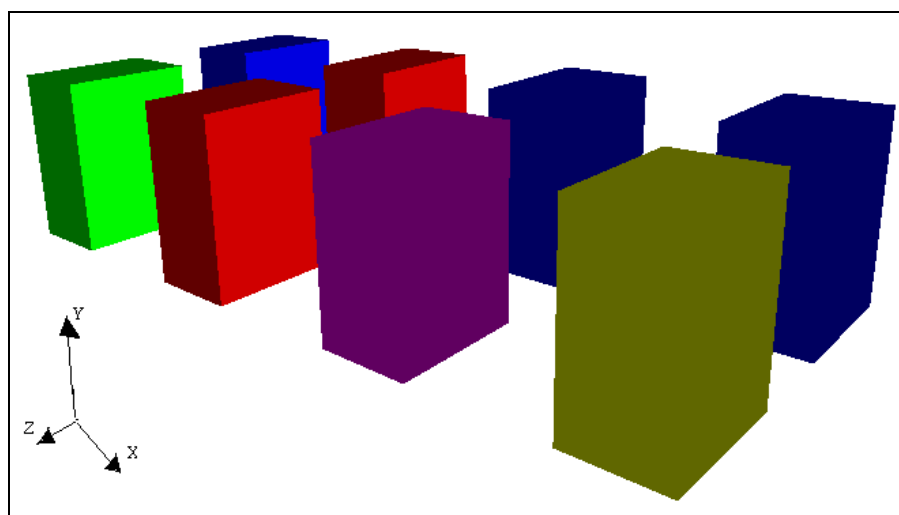


FIGURA 5.9 – FONTE DE LUZ *DIRECTIONALLIGHT* (POSIÇÃO LATERAL B)FIGURA 5.10 – FONTE DE LUZ *DIRECTIONALLIGHT* (POSIÇÃO LATERAL C)

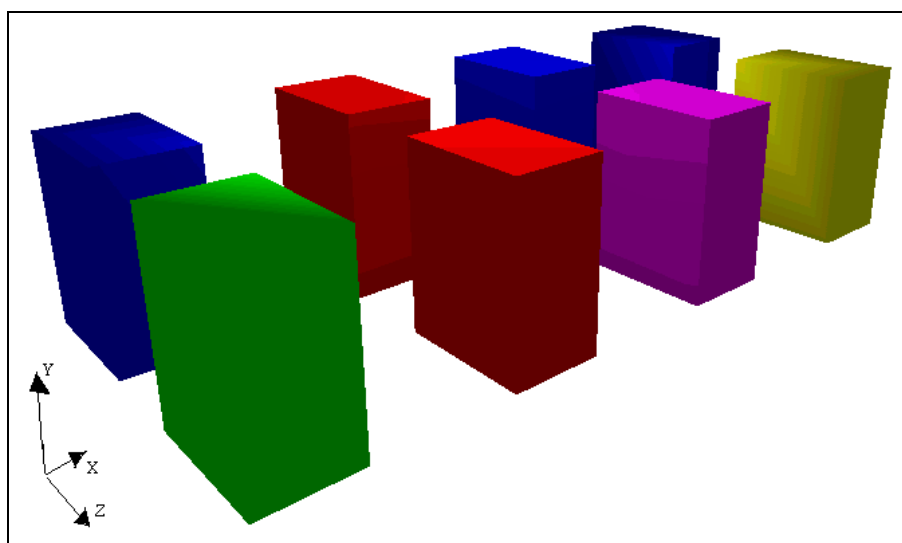
A seguir ilustra-se o comportamento de uma fonte de luz pontual (*PointLight*) que foi localizada no centro do modelo, entre os quatros prismas centrais, irradiando luz em todas as direções, como pode ser observado. Nesse caso apenas as faces dos prismas voltadas para o centro do modelo recebem intencionalmente mais luz. A Figura 5.11 representa o ponto de vista do usuário que está exatamente de frente para o modelo. Na Figura 5.12 e na Figura 5.13, o ponto de vista do usuário é alterado e nas duas figuras pode-se perceber apenas a iluminação nas faces voltadas, simultaneamente, para a fonte de luz e para o usuário.

FIGURA 5.11 – FONTE DE LUZ *POINTLIGHT* (POSIÇÃO FRONTAL)FIGURA 5.12 – FONTE DE LUZ *POINTLIGHT* (POSIÇÃO LATERAL A)FIGURA 5.13 – FONTE DE LUZ *POINTLIGHT* (POSIÇÃO LATERAL B)

No exemplo a seguir (Figura 5.14) é representada uma fonte de luz de formato cônico (*SpotLight*) e também localizada no centro do modelo, porém, a uma certa altura sobre os prismas. Essa fonte de luz pode ser usada para iluminar uma região definida pela sua distância da fonte de luz e pelo ângulo de máxima iluminação, definindo assim seu formato cônico e podendo limitar a região iluminada do modelo, mesmo tendo a face da

geometria voltada para fonte de luz.

FIGURA 5.14 – FONTE DE LUZ *SPOTLIGHT*



Por fim, o modelo é representado sem nenhuma fonte de luz. Dessa maneira, independente da posição do usuário o modelo é visto como se fosse “chapado” e perde-se a noção de tridimensionalidade, o que pode ser visto na Figura 5.15 e na Figura 5.16, em diferentes pontos de vistas.

FIGURA 5.15 – SEM FONTE DE LUZ (A)

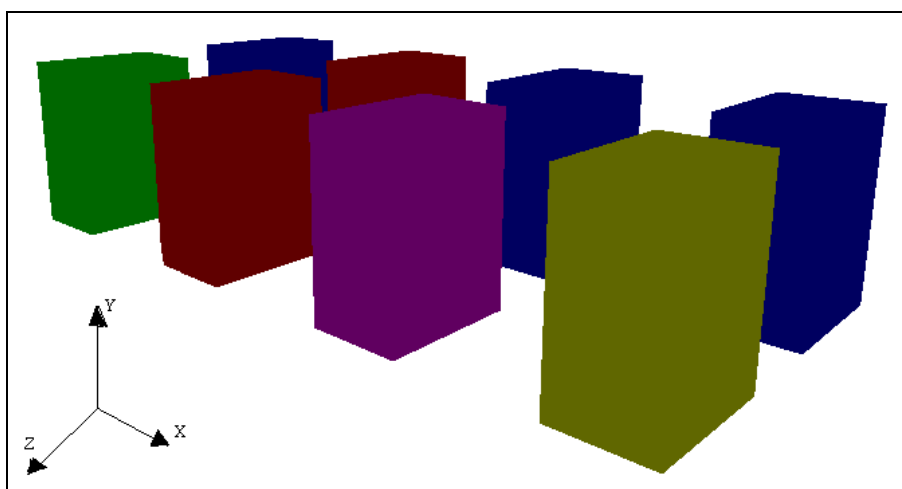
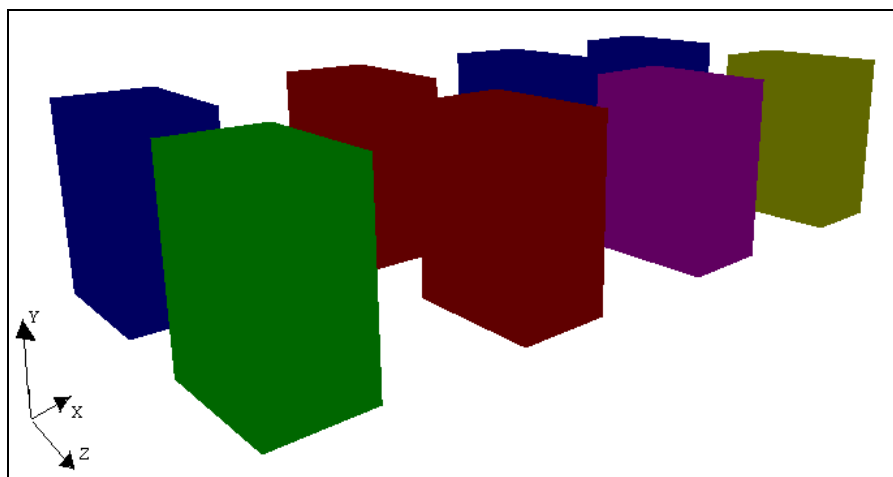


FIGURA 5.16 – SEM FONTE DE LUZ (B)



Nota-se, portanto, que a iluminação pode alterar significativamente a cor de um objeto representado em VRML. Essa alteração em saturação da cor é vinculada à posição e ao tipo de fonte de luz presente no ambiente virtual, podendo variar de acordo com a posição do usuário em relação a esses objetos representados.

Percebe-se também que esta variação em saturação, que ocorre devido a iluminação no modelo tridimensional, é diferente em determinados tons. Por exemplo, pode-se comparar o tom de cor amarelo e o azul, e como o amarelo tem mais brilho que o azul, a saturação será mais perceptível no tom de cor amarelo. Isto ocorre devido ao brilho natural das diferentes cores do espectro visível. Portanto, a variação em saturação, resultante dos sombreados, será diferente para os diferentes tons de cor. Isto influencia diretamente tanto a percepção das formas dos objetos como também introduz ênfases visuais não desejáveis.

6 MODELO TRIDIMENSIONAL DO CAMPUS CENTRO POLITÉCNICO DA UFPR USANDO VRML

Para testar algumas das potencialidades da RV aplicada à Cartografia, foi elaborada uma representação tridimensional do Centro Politécnico da UFPR empregando a linguagem de modelagem dos mundos virtuais para Internet - a VRML.

O modelo 3D gerado teve por objetivo proporcionar mais uma opção de visualização e navegação à comunidade universitária e aos visitantes do Centro Politécnico, usando-se da variável visual cor para representar e classificar as informações representadas. A utilização dessa representação é digital, via um *browser web*, e a interatividade proporcionada pelo sistema permite ao usuário definir aproximadamente o seu ponto de vista em relação ao modelo em tempo real, ou seja, o usuário define o seu ângulo de visualização e aproxima-se ou afasta-se do modelo quando desejar, usando para isso os comandos disponíveis no *plug-in*.

A primeira etapa desse trabalho foi a aquisição dos dados necessários para a geração do modelo em três dimensões. Como base cartográfica foi utilizada uma carta topográfica, em formato digital, que cobre toda a área e que possui informações planas e altimétricas do relevo, além da localização das edificações. As alturas das construções foram medidas em campo com o auxílio de uma Estação Total.

Depois, foi gerado o MDE da área e atribuído a altura de cada edificação no programa ArcView.

Na terceira fase, três modelos foram gerados: o primeiro usando a variável visual 'tom de cor' para classificação (nominal) das edificações quanto à sua utilização e nos outros dois modelos usou-se respectivamente a variável visual 'luminosidade' e 'saturação', ambas usadas para a classificação (ordinal) dos blocos didáticos segundo a sua capacidade física.

Na quarta e última fase, os três modelos foram exportados para VRML. Um *site* foi construído para disponibilizar para o usuário, via Internet, estes três modelos tridimensionais gerados.

Essas etapas são descritas mais detalhadamente a seguir:

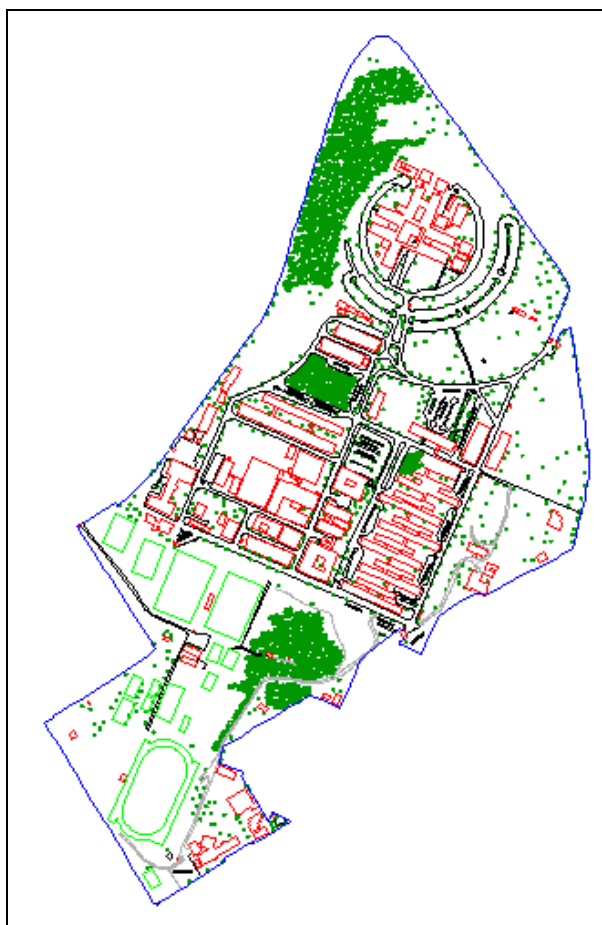
6.1 FONTE DE DADOS

Os dados para a elaboração do modelo tridimensional foram obtidos a partir de duas fontes: uma base cartográfica do Centro Politécnico da UFPR e a obtenção das alturas das edificações da área por levantamento de campo.

6.1.1 Base cartográfica

O projeto cartográfico desenvolveu-se a partir de uma base cartográfica digital da Cidade Universitária da Universidade Federal do Paraná (KRUEGER et al., 2001), no formato .dwg do programa AutoCad. Esta base cartográfica contém a representação planimétrica das principais feições que compõem a área, tais como os prédios, as vias de acesso (rodovias federais, arruamentos pavimentados e não pavimentados e as trilhas), áreas esportivas (como quadras de esportes, campos de futebol e piscinas), estacionamentos, áreas cobertas por vegetação (árvores isoladas e bosques) e o limite do Campus. A Figura 6.1 ilustra a área de estudo e as características dessa base são indicadas no Quadro 6.1.

FIGURA 6.1 –REPRESENTAÇÃO PLANIMÉTRICA DA ÁREA DE ESTUDO



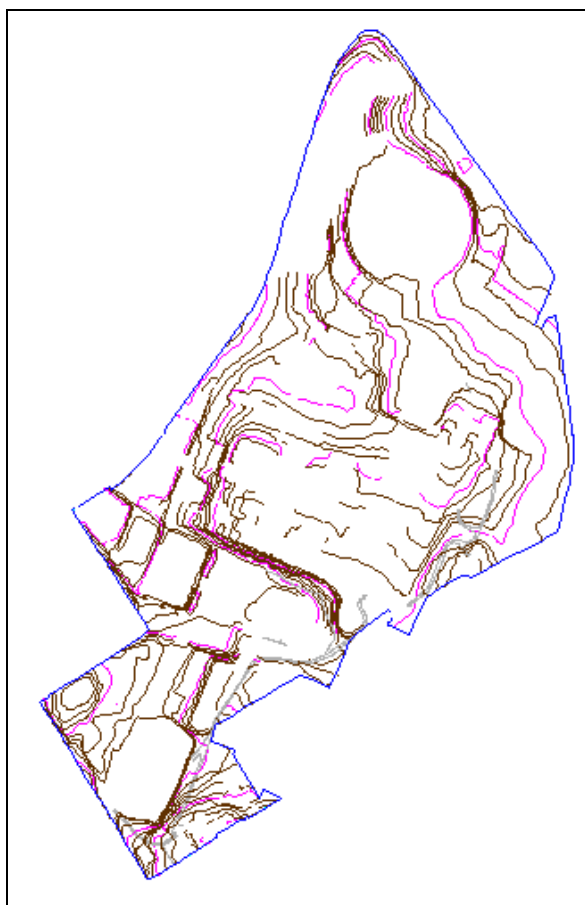
FONTE: Adaptado de KRUEGER et al., 2001

QUADRO 6.1 –INFORMAÇÕES DA BASE CARTOGRÁFICA

Escala	1:2000
Projeção	UTM
Datum	SAD 69
Eqüidistância das curvas de nível	1 m
Data de publicação	07/2001

O relevo é representado por curvas de nível com eqüidistância de um metro e pontos cotados, conforme ilustra a Figura 6.2.

FIGURA 6.2 – REPRESENTAÇÃO DAS CURVAS DE NÍVEL DA ÁREA DE ESTUDO



FONTE: Adaptado de KRUEGER et al., 2001

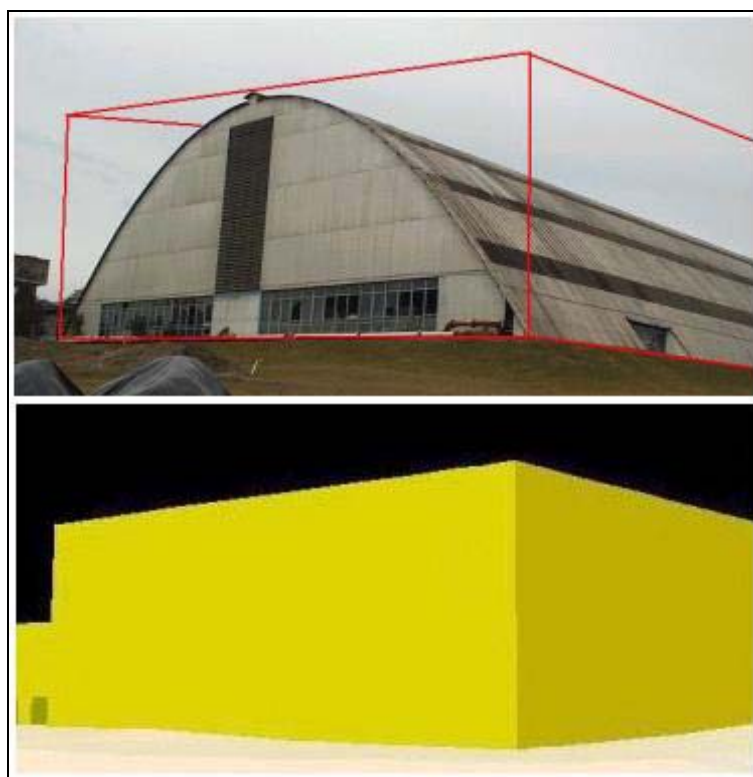
Antes dessa base cartográfica ser utilizada para a geração do MDE (Modelo Digital de Elevação) verificou-se algumas incoerências no arquivo original que poderiam trazer consequências indesejáveis à modelagem, tais como a existência de algumas curvas de nível com a atribuição incorreta da altitude e a omissão ou cruzamento dessas em áreas de grande declividade, resultando assim na necessidade de editar tais curvas de nível. Todo o processo de preparação desta base cartográfica, assim como a eliminação de algumas feições irrelevantes para esse trabalho é descrito em CARMO (2003). A mesma autora também faz uso desta base cartográfica para uma representação tridimensional do Centro Politécnico, usando de outras metodologias e visando outros objetivos.

6.1.2 Alturas das edificações

A localização planimétrica das edificações foi obtida a partir da base cartográfica anteriormente citada. Porém, foi necessário obter as alturas dos prédios, uma vez que esta informação não estava disponível na base utilizada. Estas alturas foram obtidas utilizando-se uma Estação Total para medir a distância entre a base e o topo dessas edificações. O procedimento de aquisição destas informações é descrito em CARMO (2003).

Muitas das edificações a serem representadas não possuem uma forma geométrica regular, principalmente no que se refere a suas coberturas (telhados). Assim, face a essas irregularidades, a representação das mesmas foi generalizada, optando-se por representá-las como um sólido regular que tem como altura a altura máxima da edificação medida em campo, como ilustra a Figura 6.3.

FIGURA 6.3 – GENERALIZAÇÃO NA REPRESENTAÇÃO DAS EDIFICAÇÕES



De posse das informações planas e altimétricas do relevo e das edificações, foi gerada a representação tridimensional do modelo, como descrito a seguir.

6.2 REPRESENTAÇÃO TRIDIMENSIONAL

A representação em 3D foi dividida em duas etapas, inicialmente foi gerado o MDE que representa o terreno e depois foram inseridas as edificações sobre este modelo.

6.2.1 Geração do MDE

O modelo digital de elevação foi gerado utilizando o programa ArcView 3.1. O arquivo digital da base em formato .dwg com as curvas de nível foi convertido para o formato .shp no ArcView e a partir desse arquivo foi gerado um TIN (em português, uma rede triangular irregular). Cabe ressaltar que os dados referentes às quadras, edificações e arruamento também foram convertidos para o formato shape (.shp), para que fosse possível representá-los sobre o MDE gerado numa segunda etapa. A Figura 6.4 ilustra o MDE gerado e a Figura 6.5 apresenta este mesmo modelo com os demais elementos de interesse neste trabalho, ou seja, as edificações, as quadras, as vias e as áreas esportivas.

FIGURA 6.4 – MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO



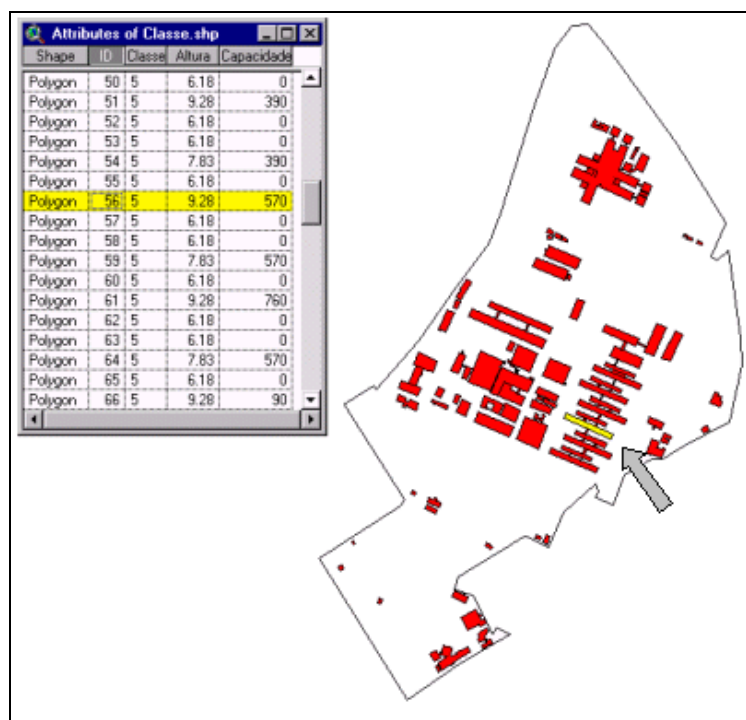
FIGURA 6.5 – MDE COM AS EDIFICAÇÕES, VIAS, QUADRAS, ÁREA ESPORTIVA E LIMITE DA ÁREA.



6.2.2 Geração da representação 3D das edificações

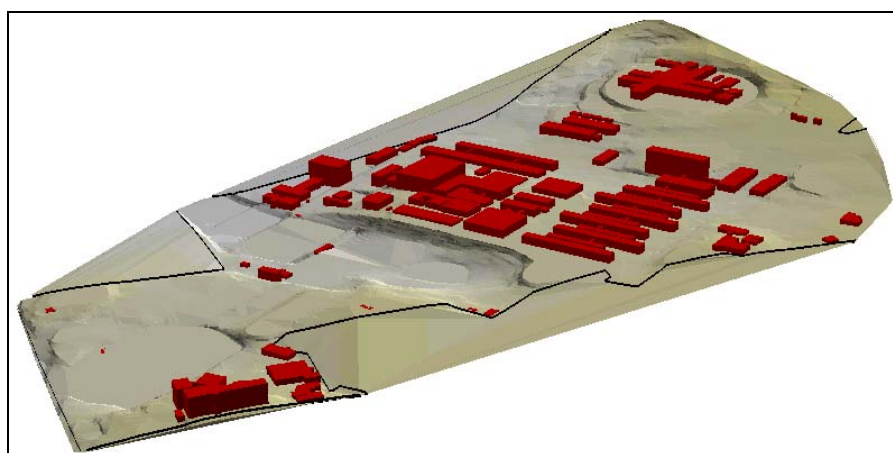
Cada edificação foi representada por um polígono, que recebeu um atributo de identificação (Id) numa tabela criada pelo próprio programa. Além desse atributo, outros três campos foram acrescentados a esta tabela, um campo representando a área dos cursos que a edificação se destina (Classe), outro com suas respectivas alturas (Altura) e por fim, um outro representando o número máximo de alunos que podem ser fisicamente acomodados nos blocos didáticos (Capacidade). A Figura 6.6 ilustra como se apresenta esta tabela no programa, tendo com o exemplo o polígono apresentado em destaque. No Apêndice A há uma tabela com a identificação, classificação, altura e capacidade (restrito aos blocos didáticos) referente a cada polígono representado.

FIGURA 6.6 – TABELA COM ATRIBUTOS DOS POLIGONOS



O mesmo modelo representado pela Figura 6.6 é também ilustrado em 3 dimensões na Figura 6.7. Para isso foi usada a extensão 3D Analyst do ArcView, atribuindo a cada edificação a altura descrita na tabela citada anteriormente.

FIGURA 6.7 – REPRESENTAÇÃO 3D DAS EDIFICAÇÕES



Após a representação tridimensional do modelo, três outros novos modelos foram gerados e aplicados a cada um deles a variável visual tom de cor, luminosidade e saturação, respectivamente. A fonte de luz usada nestes três modelos é a *HeadLight*, que é a fonte de luz *default* da VRML, por ser a que gera os resultados mais adequados à finalidade desse trabalho, que é a de navegação e visualização. A construção desses modelos é descrita a seguir.

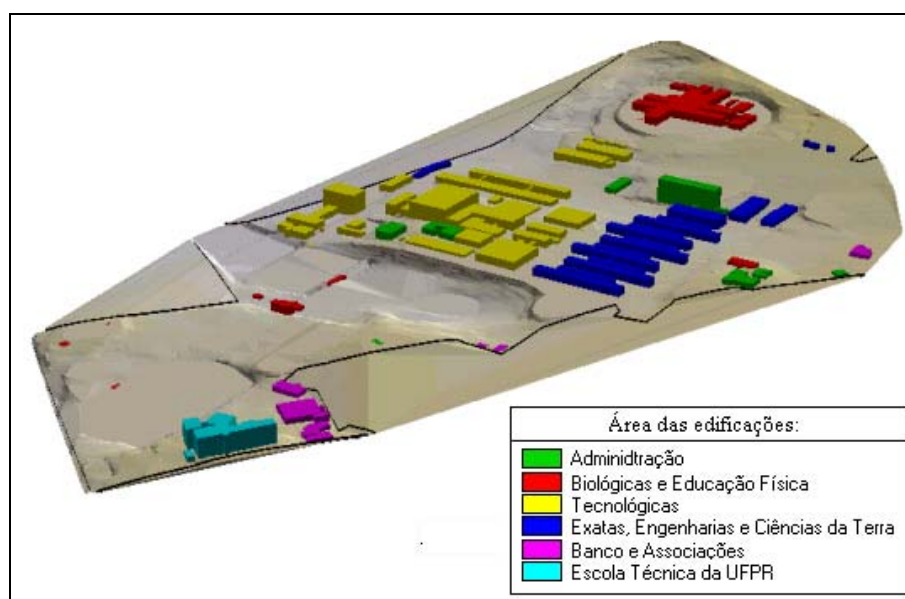
6.3 APLICAÇÃO DA VARIÁVEL VISUAL COR

Foram usadas duas formas de classificação para os modelos gerados. A primeira leva em consideração a área destinada das edificações representadas do campus do Centro Politécnico, usando para esta classificação a variável visual tom de cor. A outra classificação foi feita em função do número de carteiras disponíveis para os estudantes, restringindo-se aos prédios dos blocos didáticos, por serem os mais usados e existir informações disponíveis. Para representar esta segunda classificação foram usadas as variáveis visuais luminosidade e a saturação da cor.

6.3.1 Aplicação de tom de cor ao modelo

No primeiro modelo o tom de cor foi aplicado como variável visual para representar nominalmente a classificação dos prédios quanto à utilização de cada um. As edificações foram divididas em: Setor Administrativo; Setor de Biologia e Educação Física; Setor das Tecnológicas; Setor das Ciências de Terra, Exatas e Engenharias; Escola Técnica e Banco e Associações. A Figura 6.8 ilustra o modelo 3D utilizando o tom de cor para representar a classificação descrita.

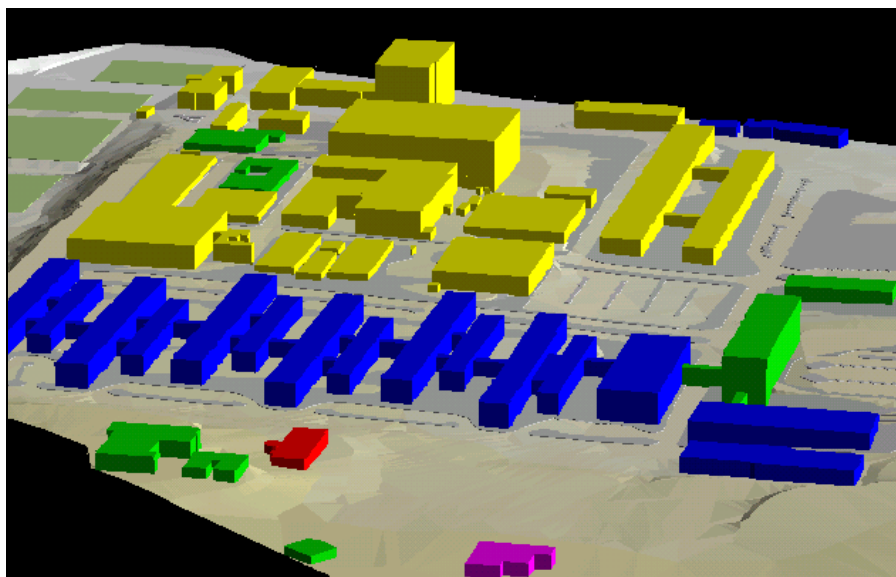
FIGURA 6.8 – REPRESENTAÇÃO DAS CLASSES USANDO TOM DE COR



6.3.2 Aplicação de textura ao MDE

Um arquivo vetorial com as ruas, quadras, estacionamentos e áreas esportivas foi sobreposto ao MDE como informações temáticas ao modelo tridimensional. Porém, como pode ser observada na Figura 6.9, essa aplicação não apresentou uma boa solução, uma vez que as informações temáticas inseridas sobre o MDE representam visualmente uma resolução ruim e, por vezes, essas informações parecem misturar-se ao modelo digital de elevação gerado.

FIGURA 6.9 – ARQUIVO VETORIAL COMO INFORMAÇÕES TEMÁTICAS



Uma outra opção foi editar uma imagem da área e também aplicá-la como informação temática. Assim, a partir da base cartográfica (vetorial) foi criada uma imagem, em formato .jpg, para ser usada como textura sobre o MDE. Nesta imagem foram representados os estacionamentos, as vias, as quadras e as áreas esportivas.

A Figura 6.10 mostra a imagem gerada para ser usada como textura e a Figura 6.11 a sua aplicação sobre o MDE, ainda no programa ArcView. Nota-se que esta aplicação possui uma boa resolução, onde o usuário pode perceber facilmente as ruas, quadras, áreas esportivas e os estacionamentos.

FIGURA 6.10 – IMAGEM DO CP USADA COMO TEXTURA

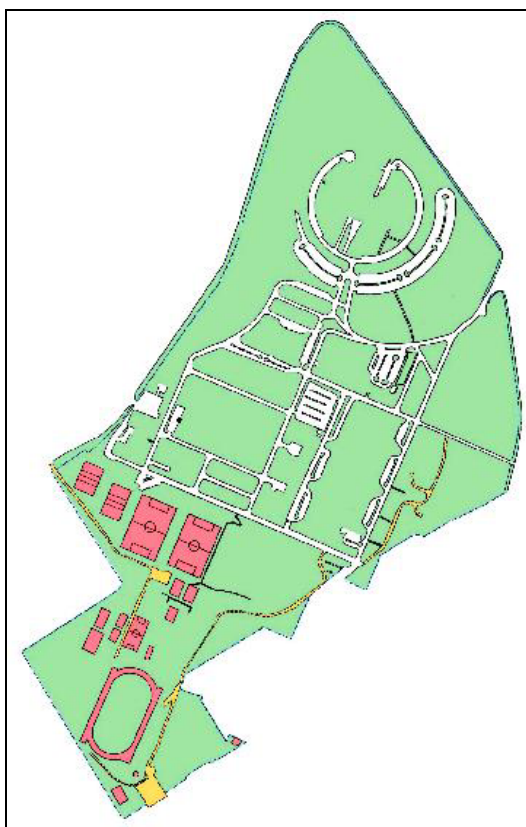


FIGURA 6.11 – IMAGEM EDITADA APLICADA À REPRESENTAÇÃO TRIDIMENSIONAL DA ÁREA NO ARCVIEW

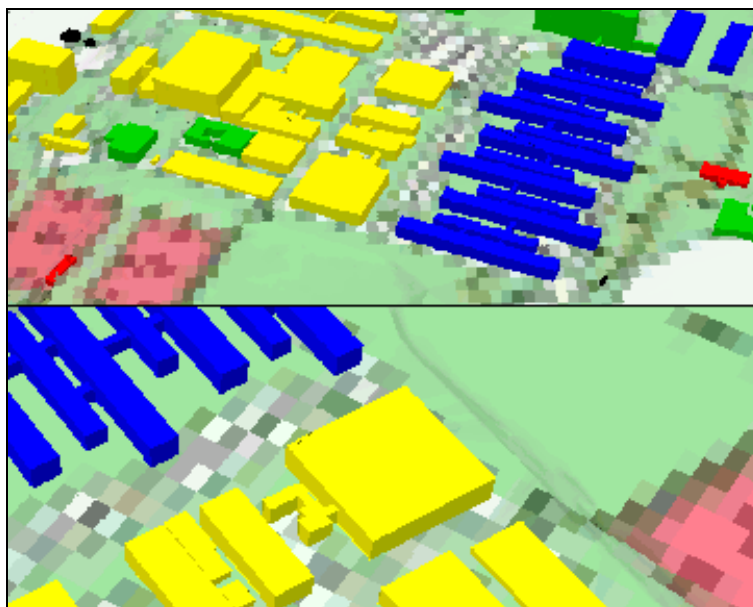


6.3.3 Exportação para VRML

Depois de modelo tridimensional gerado, o ArcView permite exportá-lo para VRML. Quatro arquivos distintos são gerados, um referente ao MDE, um referente às edificações, um outro que representa o muro que limita a área de estudo e, por fim, um arquivo que carrega os três arquivos já citados anteriormente e a imagem usada como

textura, quando é o caso. Entretanto, quando a imagem editada e utilizada como fundo é visualizada em VRML há uma nítida perda de qualidade. Este efeito é maior quanto mais próximo encontra-se o ponto de vista do usuário em relação ao modelo, conseqüentemente, perde-se a finalidade no mapa, que é a de auxiliar o usuário quanto a localização e navegação. Possivelmente, o motivo da perda de resolução se dá pelo fato de que no formato .jpg a imagem tem seu tamanho reduzido quando exportada como um arquivo VRML, caracterizado por ser um arquivo pequeno. Outra tentativa foi a inserção da imagem diretamente no arquivo VRML sobre o MDE, ficando porém o mesmo problema constatado. A Figura 6.12 mostra, em duas vistas diferente, o resultado da imagem no arquivo VRML.

FIGURA 6.12 – MODELO VRML COM TEXTURA



Visto que o uso de uma imagem raster (.jpg) como textura sobre o modelo não obteve bons resultados visuais nas condições apresentadas neste trabalho, preferiu-se manter apenas as feições tridimensionais sobre o MDE.

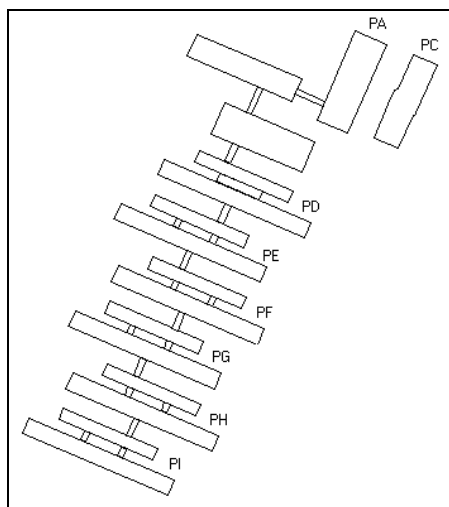
Na implementação do *site* optou-se por manter também uma representação bidimensional com as informações temáticas do modelo 3D, além do próprio modelo, para que o usuário usufrua a representação tridimensional e tenha as informações necessárias para atingir o objetivo do mapa, que é de visualizar e navegar.

6.3.4 Aplicação de luminosidade e saturação de cor ao modelo VRML

Entre os prédios que compõem o Centro Politécnico, os blocos didáticos estão entre os prédios mais conhecidos e usados. Eles se destacam por servirem principalmente como sala de aulas pelos alunos das áreas de Exatas, das Ciências da Terra, das Engenharias e Tecnológicas. Além disso, esses prédios também são usados em congressos e vestibulares. Portanto, é importante conhecer aqueles que têm maior capacidade física ou o número de alunos que cada um pode comportar. Desta maneira, foram registrados e classificados esses prédios segundo o número máximo de alunos que cada um pode suportar.

A Figura 6.13 mostra a planta baixa dos prédios que compõem os blocos didáticos e na Tabela 6.1 é dado o número de alunos de cada prédio, de acordo com RODRIGUES (2003)¹⁵.

FIGURA 6.13 – BLOCOS DIDÁTICOS



¹⁵ RODRIGUES, M. P. **Ensalameto nos blocos didáticos**. CET - Comissão de Ensalameto da Tecnologia do Centro Politécnico da UFPR, Curitiba, 2003. Comunicação informal.

TABELA 6.1 – CAPACIDADE DOS BLOCOS DIDÁTICOS

Bloco	Número de Alunos (carteiras)
PA	418
PC	845
PD	310
PE	90
PF	760
PG	570
PH	390
PI	140

FONTE: RODRIGUES (2003)¹⁶

NOTA: *Dado aproximado coletado pela autora.

Classificar um tema significa estruturar a mensagem que deve ser comunicada ao usuário. No caso dos blocos didáticos, existem oito edificações para serem classificadas, de modo que o número de classes possa levar o usuário a ter uma percepção ordinal do fenômeno. Assim, optou-se por usar o método de classificação das Quebras Naturais, por considerá-lo mais adequado, visto que este método leva em consideração a distribuição dos dados, definindo as classes pela análise visual do gráfico de dispersão ou histograma de frequência. Para a determinar o número de classes adequado para representar a distribuição do fenômeno, usou-se a Regra de Sturges¹⁷, que atribui o número de classes em função do número de valor da variável. Assim, os dados foram divididos em quatro classes e usou-se as variáveis visuais luminosidade e saturação para representá-las. A Figura 6.14 ilustra o histograma de frequência dos dados e a Tabela 6.2 a classificação desses dados de acordo com o método das Quebras Naturais.

¹⁶ RODRIGUES, M. P. **Ensalamento nos blocos didáticos**. CET - Comissão de Ensalamento da Tecnologia do Centro Politécnico da UFPR, Curitiba, 2003. Comunicação informal.

¹⁷ Segundo a Regra de Sturges: $i = 1 + (3,3 * \log n)$; onde i = número de classes e n = número total de dados. Extraído de:

CRESPO, A.A. **Estatística Fácil**. 12.ed. São Paulo: Saraiva, 1995. 224p., p. 61.

FIGURA 6.14 – HISTOGRAMA

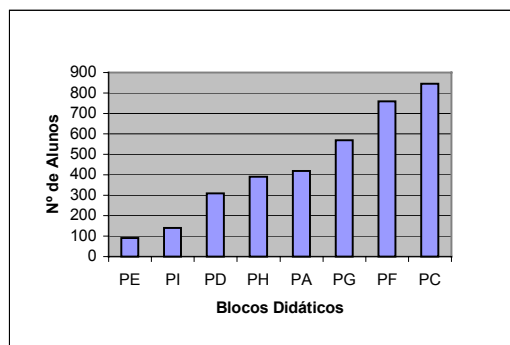


TABELA 6.2 – QUEBRAS NATURAIS

Classificação	Blocos Didáticos
Classe A	PE e PI
Classe B	PD, PH e PA
Classe C	PG
Classe D	PF e PC

A seguir, a Figura 6.15 e a Figura 6.16 representam respectivamente a classificação dos dados representada pela luminosidade e saturação num mapa bidimensional.

FIGURA 6.15 – REPRESENTAÇÃO DAS CLASSES USANDO LUMINOSIDADE

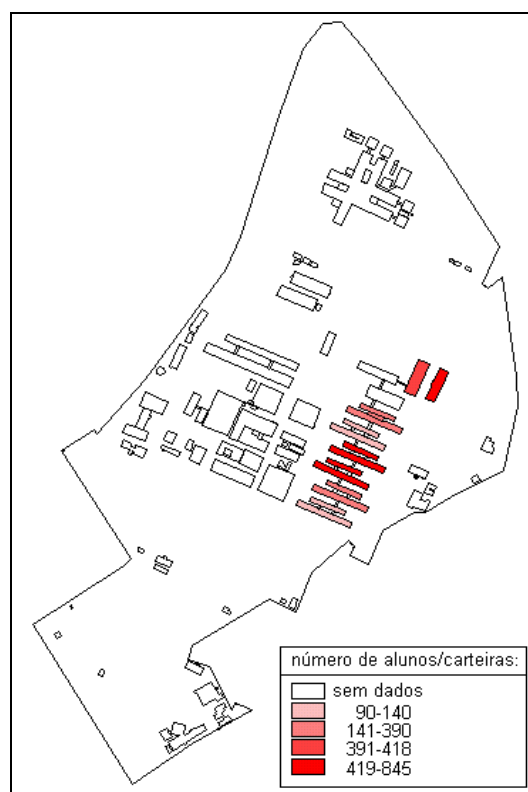
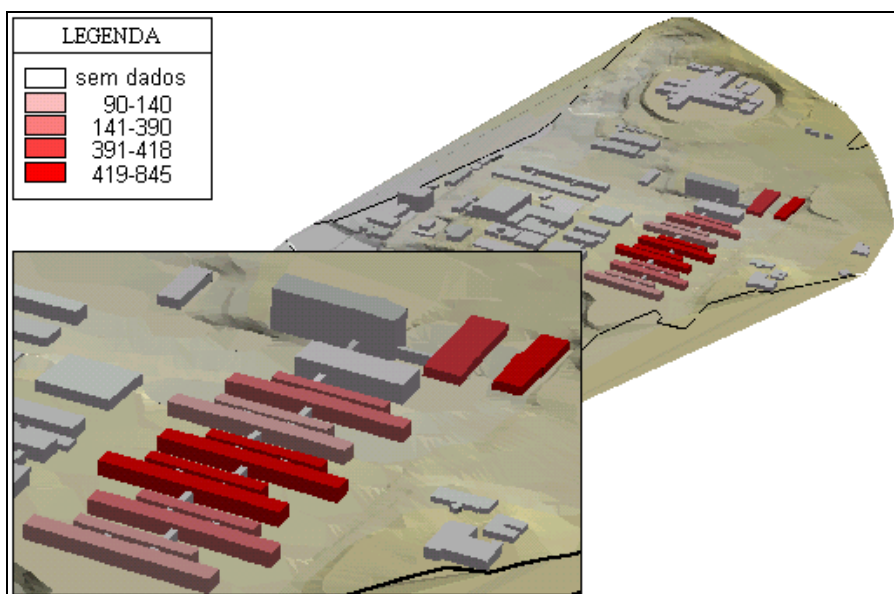


FIGURA 6.16 – REPRESENTAÇÃO DAS CLASSES USANDO SATURAÇÃO



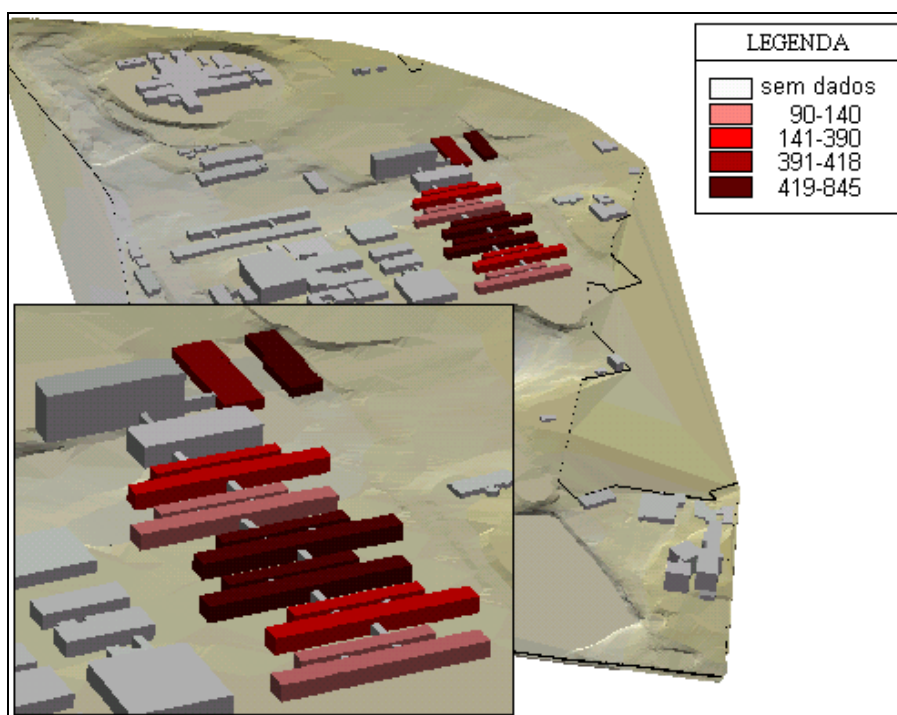
Assim como no item anterior (tom de cor), optou-se por não inserir textura sobre o MDE gerado e apenas representar os objetos em 3D sobre o mesmo. Portanto, dois modelos tridimensionais foram gerados e, de acordo com a classificação dada aos prédios, foram atribuídos diferentes luminosidade e saturação de um mesmo tom de cor. A Figura 6.17 mostra uma variação em luminosidade aplicada ao tom de cor vermelho sobre os blocos didáticos.

FIGURA 6.17 – REPRESENTAÇÃO DAS CLASSES EM 3D USANDO LUMINOSIDADE



De forma análoga, a Figura 6.18 mostra o modelo (blocos didáticos) variando em saturação, também no tom de cor vermelho, ainda no programa ArcView.

FIGURA 6.18 – REPRESENTAÇÃO DAS CLASSES EM 3D USANDO EM SATURAÇÃO

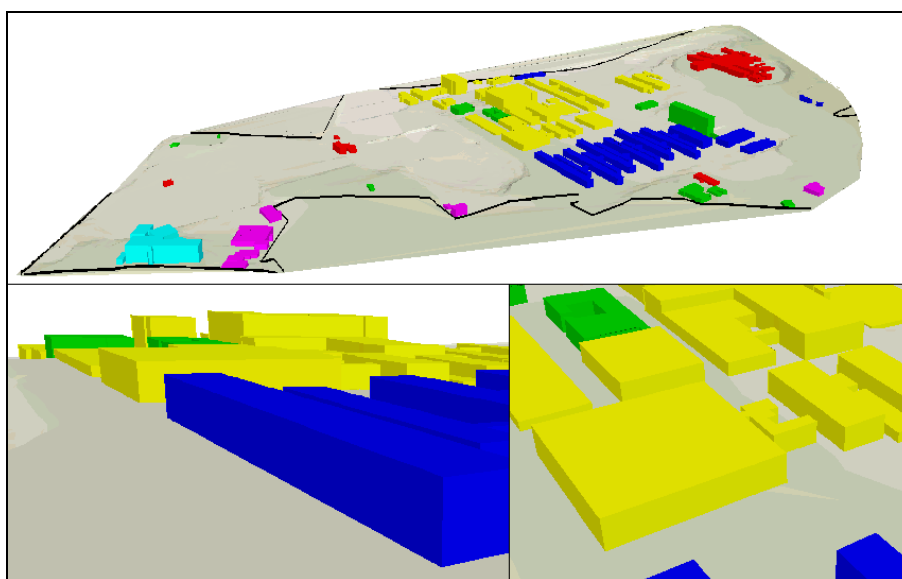


Depois, esses dois modelos também foram exportados como arquivo .wrl. A seguir são apresentados os três modelos tridimensionais que foram exportados para o formato VRML.

6.4. MODELOS VRML

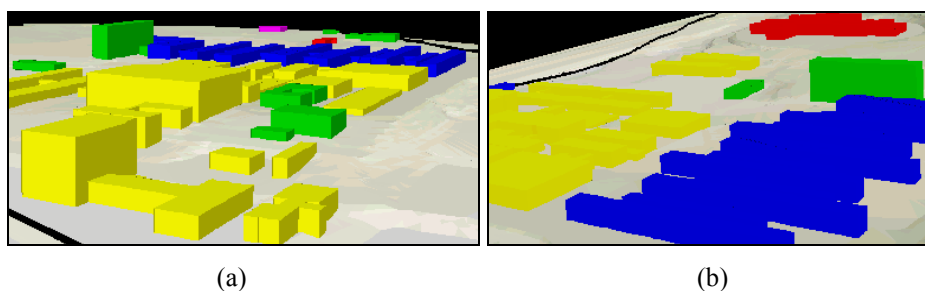
A Figura 6.19 apresenta o modelo tridimensional que usa o tom de cor para representar as classes das edificações que compõe a área, em três pontos de vista diferente. Nesta figura percebe-se que a aplicação da variável visual tom de cor é indicada para representar o nível de medida nominal.

FIGURA 6.19 – MODELO VRML USANDO TOM DE COR



Também é possível analisar o efeito da iluminação sobre o modelo, que dependendo do ponto de vista do usuário, pode-se ter dificuldades em perceber a tridimensionalidade dos objetos representados. A seguir, é ilustrado o mesmo modelo visto de dois pontos de vista diferentes (Figura 6.20a e Figura 6.20b), onde a noção de tridimensionalidade pode ser alterada em consequência da incidência de luz ser menos perceptível em determinados ângulos. Além disso, como já comentado no Capítulo 5, alguns tons de cor propiciam uma variação em saturação diferenciada, devido ao seu brilho natural. Com isso, os tons de cor devem ser cuidadosamente selecionados para induzirem a uma percepção nominal natural entre as classes e uma representação tridimensional que varia igualmente em saturação nas faces dos objetos.

FIGURA 6.20 – EFEITO DA ILUMINAÇÃO NO MODELO 3D



A aplicação da variável visual luminosidade como nível de medida ordinal na classificação dos prédios que compõe os blocos didáticos do Centro Politécnico mostrou-se adequada para tal (Figuras 6.21). Porém, a iluminação existente no modelo também sugere uma variação em saturação no próprio modelo, e mantém a percepção de ordem. Entretanto, o número máximo de classes do fenômeno possíveis de serem representadas, torna-se mais limitado e passa a depender tanto de nossa capacidade de distinguir os diferentes níveis de luminosidade, para as diferentes cores, quanto de nossa capacidade de distinguir as formas dos objetos, conseqüentemente dos diferentes níveis de iluminação incidente em suas faces (Figura 6.22).

FIGURA 6.21 – MODELO VRML USANDO LUMINOSIDADE

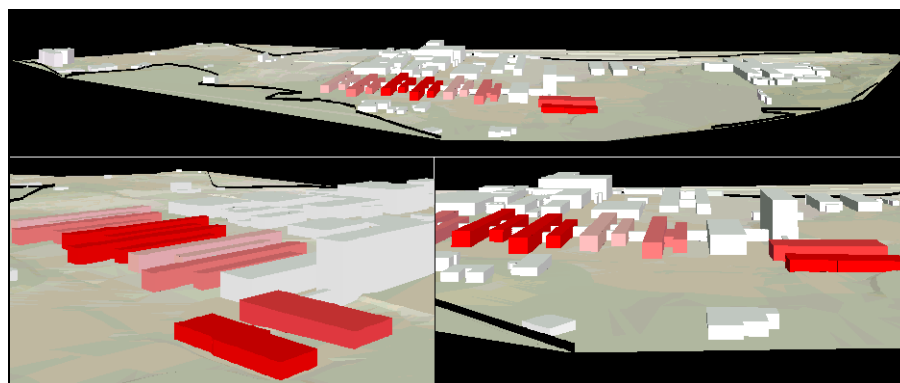
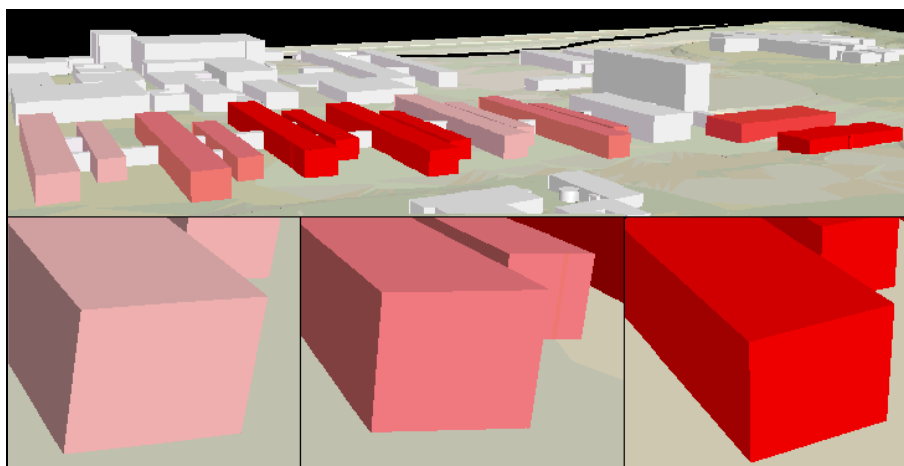
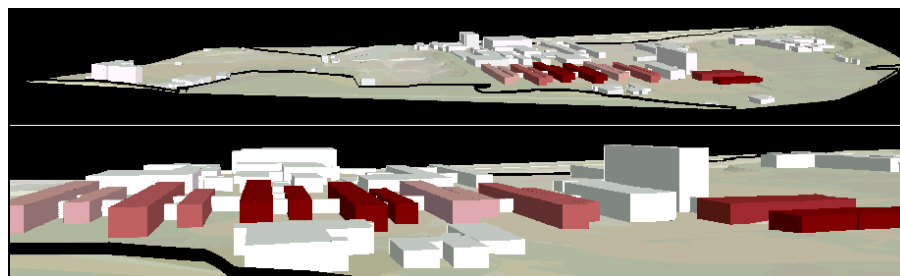


FIGURA 6.22 – VARIACÃO EM LUMINOSIDADE E SATURAÇÃO NO MODELO 3D



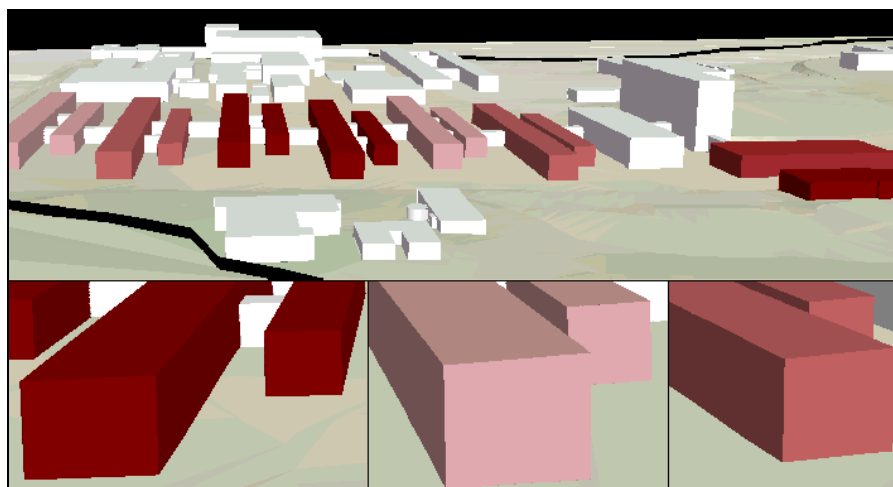
A Figura 6.23 ilustra uma outra classificação dos mesmos dados representados pelo modelo anterior, porém usa-se a variável visual saturação de cor para representar os mesmos prédios, classificados segundo o número máximo de alunos que cada um pode comportar. De forma análoga à aplicação da variável visual luminosidade, a variável visual saturação também proporciona uma percepção visual ordinal.

FIGURA 6.22 – MODELO VRML USANDO SATURAÇÃO



Além da variação em saturação aplicada como variável visual para classificar os dados do modelo há uma segunda variação em saturação no mesmo modelo, em consequência da iluminação. Na Figura 6.23 pode-se perceber melhor o resultado dessa variação em saturação, nas faces da geometria representada, decorrente da iluminação no modelo, e entre cada objeto representado, resultante da classificação.

FIGURA 6.23 – VARIAÇÃO EM SATURAÇÃO NO MODELO 3D



Estes três modelos são disponibilizados num *site*, criado especificamente para tal, descrito a seguir.

6.5. SITE

Por fim, para que o usuário tenha acesso aos modelos, foi construído um site. Esse site permite ao usuário visualizar e navegar nos modelos gerados, explorando as informações tridimensionais modeladas e a aplicação da variável visual cor (tom, luminosidade e saturação) como nível de medida.

Para que o usuário visualize estes modelos é necessário que ele instale um *plug-in* no seu *browser web*. Assim, quando ele acessar o arquivo VRML o *plug-in* é acionado automaticamente, tornando-se possível visualizar os modelos em três dimensões, como acontece para os textos numa página HTML. No Apêndice B, há uma descrição dos *plug-ins* mais usados, endereços onde podem ser encontrados e um guia suscinto de suas principais funções, para orientar os novos usuários desta ferramenta.

A Figura 6.24 ilustra a página principal do site:

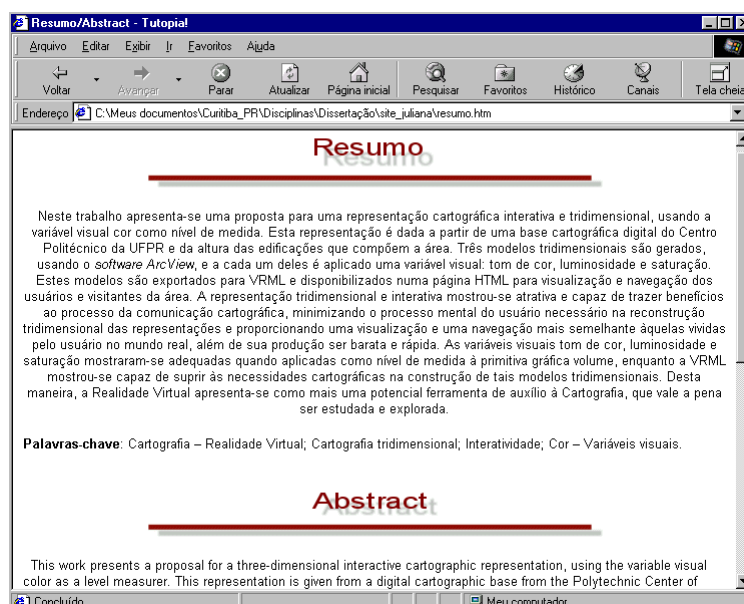
FIGURA 6.24 – SITE



Através desta página é possível acessar o site da UFPR e do Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, além de todo o trabalho aqui descrito.

No link “Resumo” tem-se acesso ao resumo, *abstract* e outras informações sobre este trabalho, como ilustra a Figura 6.25.

FIGURA 6.25 – RESUMO



Em “Dissertação / Links” o usuário tem acesso ao documento completo da dissertação em formato pdf e *sites* onde podem ser realizados *downloads* de *plug-ins* VRML (Figura 6.26).

FIGURA 6.26 – DISSERTAÇÃO E LINKS



Em “Efeitos da Iluminação em objetos VRML” o usuário tem acesso aos cinco modelos gerados para as discussões apresentadas no Capítulo 5, referente a iluminação (Figura 6.27 e Figura 6.28).

FIGURA 6.27 – ESCOLHA DO MODELO VARIANDO A FONTE DE LUZ

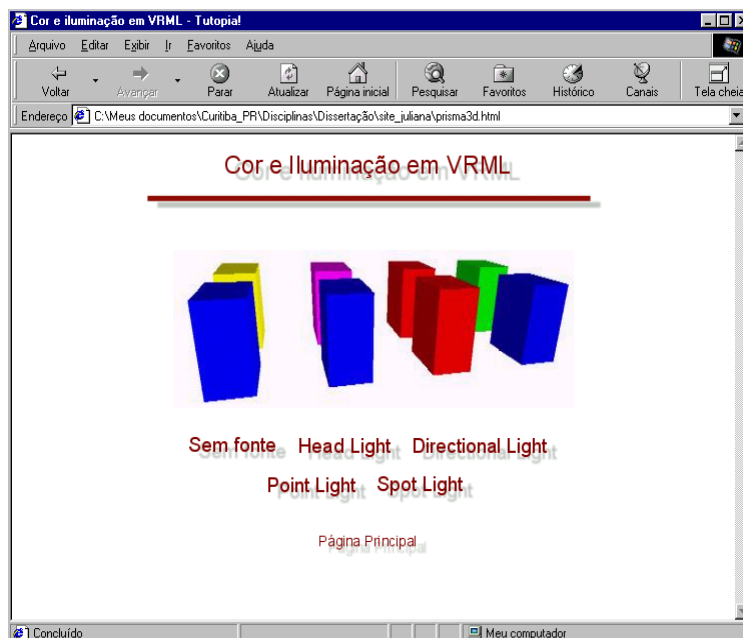
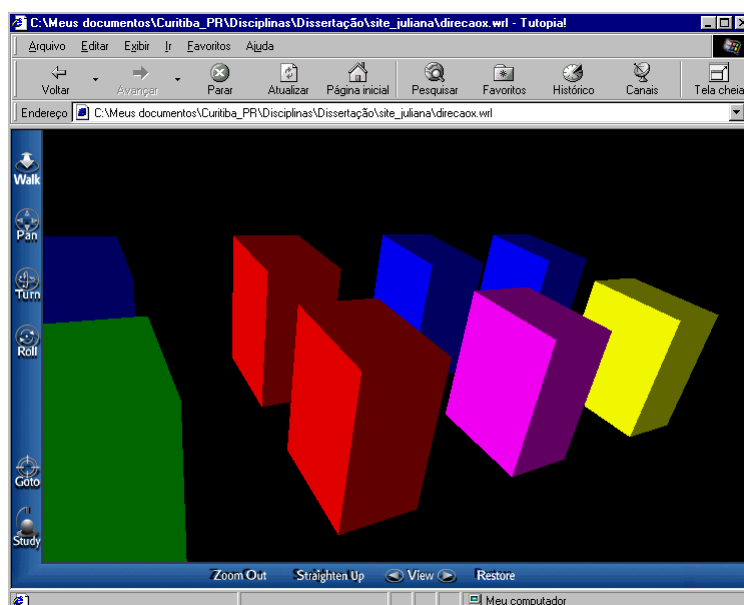


FIGURA 6.28 – MODELO DIRECTIONAL LIGHT



No link “Campus UFPR em VRML” é apresentado uma página em que os três modelos tridimensionais do campus Centro Politécnico da UFPR são disponibilizados em VRML aos usuários (Figura 6.29).

FIGURA 6.29 – ESCOLHA DO MODELO 3D



Nessa página o usuário tem acesso aos três modelos tridimensionais gerados: tom de cor (Figura 6.30), luminosidade (Figura 6.31) e saturação (Figura 6.32). Em cada uma dessas novas páginas a serem acessadas, o usuário têm disponível no lado direito da tela do computador um mapa bidimensional contendo todas as informações temáticas necessárias, além de orientação e de uma escala aproximada. Esta base cartográfica é necessária em

decorrência da necessidade do usuário de obter informações necessárias para sua navegação e visualização no modelo tridimensional, já que não foi possível contextualizá-la diretamente ao modelo 3D, como descrito no subitem 6.3.3 deste capítulo. Ainda há uma legenda referente a essas informações temáticas, que podem ser aplicadas tanto para o mapa bidimensional quanto na representação 3D.

FIGURA 6.30 – MODELO TOM DE COR

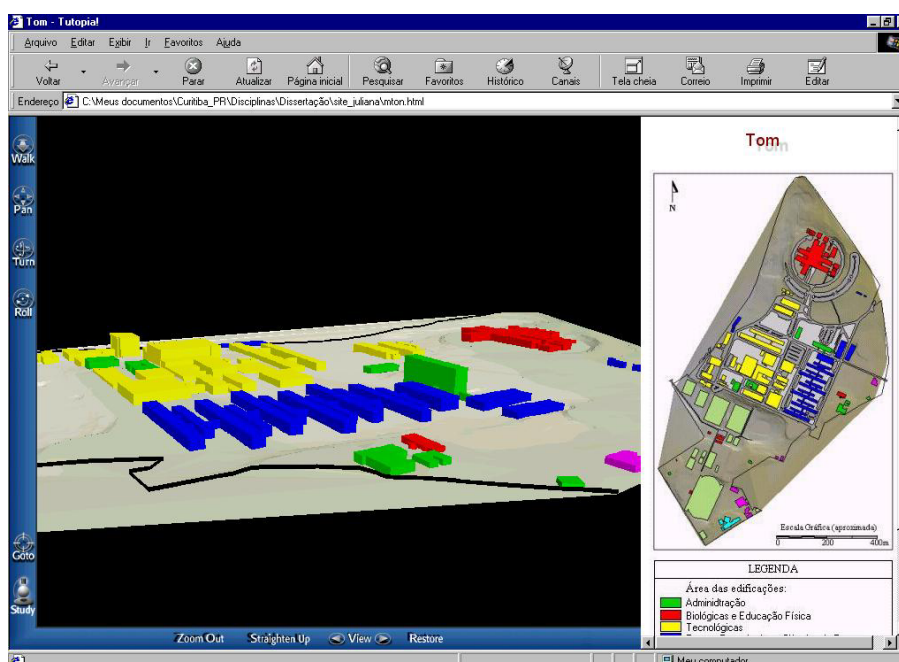


FIGURA 6.31 – MODELO LUMINOSIDADE

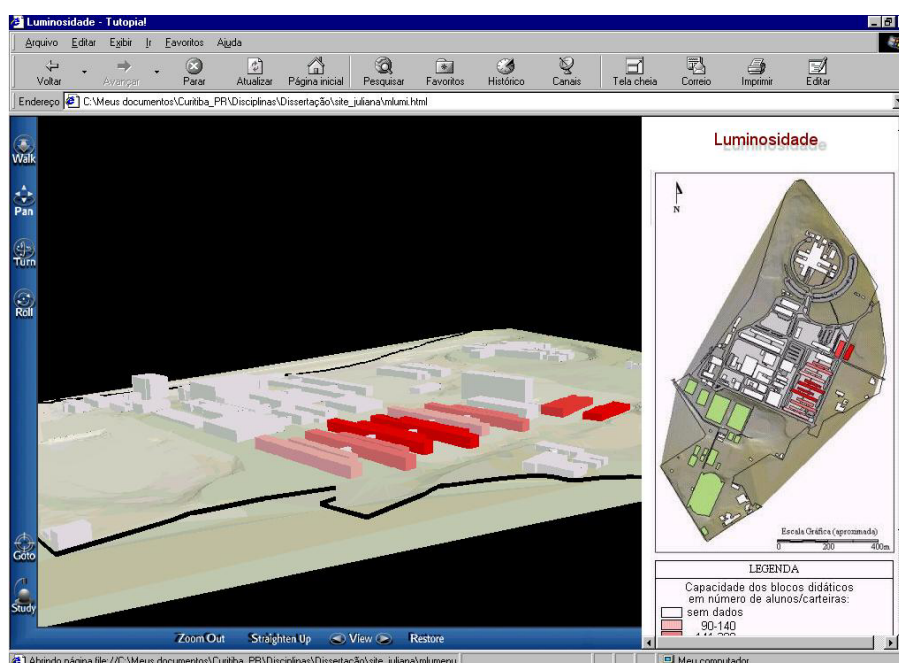
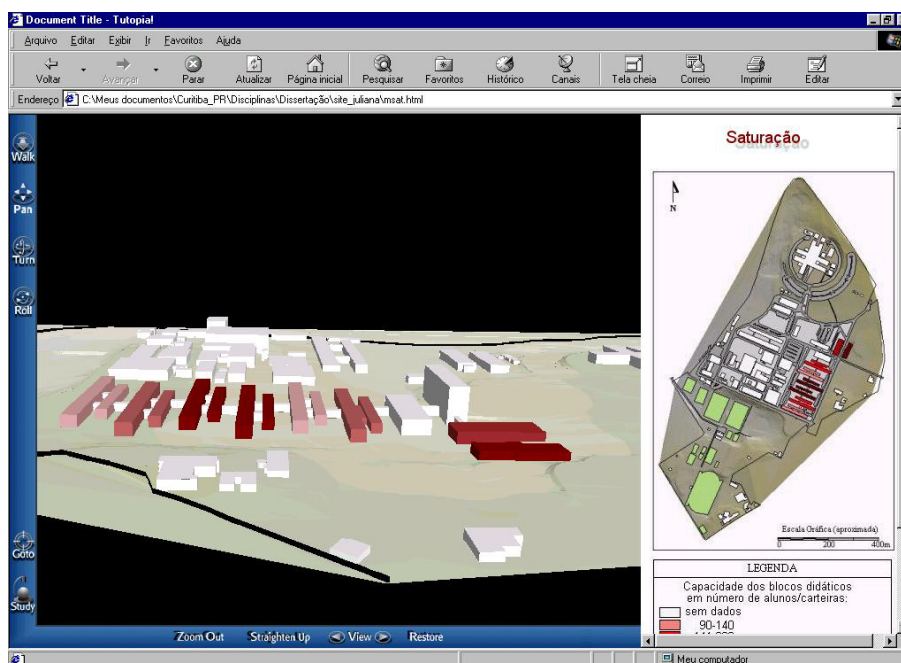


FIGURA 6.32 – MODELO SATURAÇÃO



7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os estudos realizados sobre a Realidade Virtual aplicada à Cartografia mostraram que o trabalho desenvolvido aponta para uma linha de pesquisa bastante promissora, usando a Realidade Virtual como ferramenta para representar dados cartográficos de forma interativa e tridimensional.

É notória a diferença entre o mapa bidimensional e estático comparado a um mapa tridimensional e interativo, do ponto de vista da comunicação cartográfica.

Atualmente é crescente a disponibilidade de dados cartográficos tridimensionais, provenientes de fontes de dados como restituição digital e mais recentemente os sistemas de mapeamento a laser (*laser scanning*), por exemplo. Desta forma, representar estas informações em modelos tridimensionais é uma forma de tornar estas informações úteis.

A geração de um modelo em 3D, mesmo com generalizações na representação das edificações, auxilia o usuário na reconstrução do mundo real tridimensional. Além disso, a interação proporcionada pela RV traz ao usuário uma nova maneira de visualizar e navegar pelas informações representadas, de forma a ser mais semelhante ao mundo que o usuário conhece e conseqüentemente, mais fácil.

Um fator importante para a popularização do uso de mapas digitais através da Internet, caso em que se incluem os mundos virtuais criados com VRML, é que a publicação e divulgação destes é rápida e barata comparada a um mapa impresso, por exemplo, além do usuário ter acesso de qualquer lugar do mundo, bastando para isso disponibilizar apenas de um computador conectado à rede. Além disso, a manipulação do modelo 3D em VRML é um processo que instiga a curiosidade do usuário pelo fato de ser uma representação dinâmica, suscetível aos “comandos” fornecidos pelo usuário.

A VRML mostrou-se uma ferramenta eficiente para ser usada na construção de modelos tridimensionais para fins cartográficos, de acordo com os experimentos realizados neste trabalho. Dentre suas principais vantagens estão a facilidade na modelagem dos dados e a interação proporcionada ao usuário na navegação e visualização das informações, que podem ser facilmente exploradas por diferentes ângulos e distâncias do modelo.

Como visto, a criação de mundos virtuais em VRML pode ser realizada através de editores de texto, técnica simples de construção, porém quando se trata de modelos mais complexos, pode-se tornar inviável. Neste sentido, pesquisar programas que possam auxiliar o cartógrafo na criação dos modelos torna-se algo importante. O uso do ArcView para a criação do modelo 3D e posterior criação do modelo VRML através de um processo de exportação de dados mostrou-se um processo eficiente. Porém, o trabalho realizado mostra a importância de se ter uma base cartográfica completa e de qualidade. A necessidade de edição de uma base cartográfica adequada para a elaboração do modelo pode ser uma atividade mais demorada e onerosa do que o processo de modelagem tridimensional propriamente dito. Isto faz pensar na necessidade do estabelecimento de padrões ou normas para a elaboração de bases cartográficas voltadas para a construção de modelos tridimensionais. A inexistência de informações referentes à altura das edificações, por exemplo, demandou a realização de trabalho de campo, sendo que a obtenção desta durante o processo de restituição utilizando-se de fotos de áreas mapeadas é relativamente simples.

A busca por ferramenta para criação de mundos virtuais que auxiliem o cartógrafo e que conjuguem funcionalidade com baixo custo também é algo a ser pesquisado.

Os experimentos realizados mostraram ser possível utilizar a variável visual cor, em suas três dimensões tom, luminosidade e saturação para a representação dos níveis de medida utilizados nos modelos tridimensionais gerados. Porém, os estudos realizados no Capítulo 5 mostraram que o uso da cor no ambiente VRML pode tornar-se complexo face às possibilidades de posicionamento das fontes de luz que interferem nas propriedades da variável visual cor durante a representação. Como visto em alguns casos, pode-se até perder o efeito da representação tridimensional das feições, o que pode provocar falhas no processo de comunicação cartográfica. Ademais, o sistema de cores RGB, padrão VRML, deixa a desejar, aconselhando-se o uso do sistema de cor de Munsell.

A aplicação de padrões de textura nos mundos virtuais é bastante comum, entretanto não foi possível aplicar adequadamente uma textura como informação temática ao MDE do modelo tridimensional gerado, nas condições deste trabalho. A perda de qualidade na imagem utilizada como “pano de fundo” ao modelo digital ficou clara,

principalmente quando o usuário se aproxima do mesmo. Como contornar este problema também é um tema relevante para a representação e deve ser explorado.

Outro ponto importante é a questão da orientação. Para auxiliar o usuário durante a navegação, a incorporação de uma representação plana tradicional juntamente com o modelo virtual pode ser uma opção, como pode ser visto no *site* elaborado. Visto que, um sistema que atende tanto uma representação plana quanto uma representação em 3D pode ser mais adequada para a navegação do usuário.

Neste trabalho a representação tridimensional das feições da área foi generalizada a partir da forma geométrica de sua base e de uma altura única estabelecida para toda a edificação. Isto altera consideravelmente a forma verdadeira de algumas edificações, mas é uma maneira simples e rápida para a criação do modelo 3D. Contudo, essa forma de representação cartográfica, interativa e tridimensional, mostrou-se viável, técnica e economicamente, atendendo às necessidades cartográficas expressas na presente pesquisa. Sendo assim, espera-se que este trabalho possa contribuir para o surgimento de novas pesquisas, e nesse sentido algumas sugestões são dadas para trabalhos futuros, tais como:

- Estudar o processo mental do usuário num ambiente tridimensional e interativo para adicionar esse conhecimento à construção de novos modelos, de modo a melhorar a comunicação cartográfica;
- Estudar maneiras de conciliar o uso do mapa 3D junto ao mapa tradicional, e em quais situações seria mais eficiente a comunicação cartográfica explorando apenas um mapa tridimensional ou apenas um o mapa tradicional;
- Estudar a implementação de outros níveis de interatividade entre o usuário e o modelo, a fim de aprimorar o entendimento do usuário;
- Testar outros programas computacionais para construir modelos 3D;
- Estudar a aplicação de conceitos de generalização a objetos tridimensionais;
- Estudar outras variáveis visuais, aplicadas à primitiva gráfica volume para representar diferentes níveis de medida;
- Estudar outros métodos para aplicar adequadamente uma imagem como informação temática;

- Estudar até que ponto o uso de textura sobre os objetos auxilia na compreensão do modelo, orientação e navegação, principalmente quando estas texturas são obtidas a partir de imagens reais dos objetos mapeados;
- Realizar um novo trabalho numa área maior e mais complexa, como é o caso dos grandes centros urbanos, buscando evidenciar o grau de dificuldades do usuário em navegar e obter informações neste ambiente, visto que, a área usada neste trabalho pode ser considerada pequena;
- Testar a aplicação dos nós da GeoVRML, atendendo modelos que devem ser gerados com interesse em aplicações geográficas;
- Explorar a questão da imersão e interação na Cartografia.

O fato de o número de trabalhos existentes nessa linha de pesquisa ser ainda pequeno, aliado à possibilidade de conjugação de novas ferramentas e tecnologias, a exemplo do que foi feito no presente trabalho, faz desta uma área promissora que provavelmente trará muitos benefícios à Cartografia.

REFERÊNCIAS

- ADAMS, L. **Visualização e realidade virtual**. São Paulo: Makron Books, 1994.
- CAPRA, M.; SAMPAIO, A. C. F. RVML na Cartografia: Estudo de caso de compatibilização de arquivos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, 19., 1999, Recife. **Anais...** Recife: CBC, 1999, Cd-Rom.
- CARMO, V. C. do. **Representação tridimensional do Centro Politécnico**. Curitiba, 2003. 49f. Trabalho de Graduação (Projeto Final) – Curso de Engenharia Cartográfica, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná.
- CARRARD, M. **Tutorial VRML 2.0**. Ijuí (RS): Universidade Regional do Noroeste do Estado Rio Grande do Sul- UNIJUÍ / Departamento de Tecnologia. 2001. Apostila.
- CRAMPTON, W. J. Interactivity types in geographic visualization. **Cartography and Geographic Information Science**, v. 29, n. 46, p. 85(14), abr 2002. Disponível em: <http://infotrac.galegroup.com/itw/infomark/54/429/45734112w5/purl=rcl_ITOF_0_A88248154&dyn=10!xrn_2_0_A88248154?sw_aep=capes47> Acesso em: out. 2002
- DANAHY, J. Virtualising the 3D Real World (2) – Visualisation Data Needs in Urban Environmental Planning and Design. **GIM International**, [Amsterdã], v.14, n.5, p. 12-15, 2000.
- DENT, B. D. **Cartography thematic map design**. 5. ed. Estados Unidos: WCB/McGraw-Hill, 1999. 417 p.
- DYKES, J. A. et al. **From Chernoff to Imhof and Beyond: VRML and Cartography**. [1998]. Disponível em: <<http://www.c-lab.de/vrml99/vrml99papers/dykes.pdf>> Acesso em: nov. 2002.
- FERREIRA, K. X.; DIAS, M. C. A. C.; PERREIRA, A. T. C. **Utilização das cores na arquitetura e no design com apoio computacional** Disponível em: <<http://www.n3p.ufjf.br/graphicca/artigos.html>> Acesso em: out. 2003
- GLOSSARY of terms. Disponível em: <<http://www.burningchrome.com/~cdent/i200moin/moin.cgi/GlossaryOfTerms>>. Acesso em: out. 2003.
- HOSN, R. N. A.; COSTA, C. P. J. **Realidade virtual imersiva**. 1999. Disponível em: <<http://membro.intermega.globo.com/realidadevirtual/index.htm>> Acesso em ago. 2001.
- IVERSON, L.; REDDY, M. **GeoVRML 1.0 Recommended Practice - Web Consortium, 2000**. Disponível em: <<http://www.geovrml.org>> Acesso em: out. 2002.
- JACOBSON, L. **Realidade virtual em casa**. Rio de Janeiro: Berkeley, 1994. 446 p.
- JIANG, B. et al. **Geovisualisation for Planning Support Systems**. [2001]. Disponível em: <<http://www.hig.se/~bjg/Jiang-Springer1.pdf>> Acesso em: out. 2003.
- KIRNER, C. **Grupo de pesquisa em realidade virtual / Projeto AVVIC / UFSCar**. 1997. Disponível em: <http://www.realidadevirtual.com.br/publicacoes/tutorial_rv/tutrv.htm> Acesso em ago. 2001.
- KRAAK, M. J. Geovisualization, webmaps and virtual reality. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, 20., 2001, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: CBC, 2001, v.1, Cd-Rom.

- KRUEGER, C. P. et al. **Campus Cidade Universitária**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, Departamento de Geomática. 2001. Mapa: color. Escala 1:2000. Cd-Rom.
- LOPEZ, B. N., Uma metodologia para mapeamento tridimensional de sítios históricos usando técnicas de fotogrametria de baixo custo. In: COLÓQUIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS, 3., 2003, Curitiba. **Anais...** Curitiba: CBCG, 2003, v.1, Cd-Rom.
- MACEACHREN, A. M. **How maps work: representation, visualization, and design**. New York: The Guildford Press, 1995. 513 p.
- MACEACHREN, A. M. **Some truth with maps: A primer on symbolization and designer**. Pennsylvania, 1994.129 p.
- MACHADO, L. dos S. **Conceitos básicos da realidade virtual**. INPE, 1995. Disponível em: <<http://www.lsi.usp.br/~liliane/conceitosrv.html>> Acesso em: ago. 2001.
- MAREN, G. V.; VERBREE, E. Virtualising the 3D real world (3) – Karma-v1: 4D GIS and virtual reality for urban planning. **GIM International**, [Amsterdã], v.14, n.6, p. 34-36, 2000.
- MELCHIADES, F. G., BOSCHI, A. O. **Cores e tonalidade em revestimentos cerâmicos**. Universidade Federal de São Carlos – LaRC/DEMa/UFSCar. 1999. Disponível em: <http://www.ceramicaindustrial.org.br/pdf/v04n16/v4n16_2.pdf> Acesso em: out. 2003.
- MOORE, K. VRML and java for interactive 3D cartography. In: CARTWRIGHT, W.; PETERSON, M. P.; GARTNER, G. **Multimedia Cartography**. [S. l.]: Springer, 1999. 343 p., p.205-216.
- MUSIN, O. R. **Towards 3/4-D GIS**. Moscow State University, Russia. [1997]. Disponível em: <<http://www.geogr.muni.cz/lgc/gis98/proceed/MUSIN2.html>> Acesso em: out. 2003.
- PESSOA, B. D. S.; ARAÚJO FILHO, M. S. C. **Criação de mundos tridimensionais na Internet: Uma introdução operacional a VRML**. Escola de Tecnologia da Universidade Federal de Pernambuco. 1999. Apostila.
- PETERSON, M. P. **Interactive and animated cartography**. New Jersey: Prentice Hall, 1995. 257 p.
- PIMENTEL et al. **Construção e gestão da complexidade de cenários urbanos 3D em ambientes virtuais imersivos**. [2000]. Disponível em: <<http://visualis.ist.utl.pt>> Acesso em : nov. 2002.
- POLLEFEYS, M.; VAN GOOL, L. Virtualising the 3D real world (1) - Automatic method for the acquisition of detailed 3D models for image sequences. **GIM International**, [Amsterdã], v.14, n.4, p. 12-14, 2000.
- REDDY, M. et al. Under the hood of GeoVRML 1.0. In: **Proceedings of The Fifth Web3D/VRML Symposium**. Monterey, California. 2000.
- ROBBI, C. **Sistema para visualização de informações cartográficas para planejamento urbano**. São José dos Campos, 2000. 369 p. Tese (Doutorado em Computação Aplicada) - INPE / Ministério da Ciência e Tecnologia. [INPE-7890-TDI/739].
- ROBINSON A. H. et al. **Elements of cartography**. 6. ed. [S.l.]: John Wiley & Sons, 1995. 674 p.
- SANTOS, W. P. dos; CANDEIAS, A. L. B. Utilização da realidade virtual para geração de modelos e perfis topográficos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, 20., 2001, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: CBC, 2001. Cd-Rom.

SCOTT, M. S. **The extension of cartographic modeling for volumetric geographic analysis.** Carolina do Sul. [1996]. Disponível em:
<http://www.sdatial.maine.edu/ucgis/testproc/scott_m/scottm.html> Acesso em: out. 2003.

SILVA, S. T. da. **Integração de técnicas de modelagem com a VRML.** São Leopoldo: UNISINOS. 1999. Monografia.

SLOCUM, T. A. **Thematic cartography and visualization.** New Jersey: Prentice Hall, 1999. 293 p.

TAYLOR, D. R. F. Uma base conceitual para a Cartografia: Novas direções para a era da informação. **Caderno de Textos – Série Palestras**, São Paulo, v. 1, n.1, p. 11-24, ago., 1994. Tradução.

TIPLER, P. A. **Physics for scientists and engineers.** 3. ed. New York: Worth Publ. v. 4. 1995.

TURNER, A. K. Applied geoscience forum – What's the difference among 2-D, 2.5-D, 3-D and 4-D? **GIS World**, [s.l.], p. 54, mar. 1997.

UNISUL - UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA. **Trabalho sobre realidade virtual.** 1996. Disponível em: <<http://reiag.vila.bol.com.br>> Acesso em: ago. 2001.

W3C-World Wide Web Consortium: Disponível em: <<http://www.w3.org>> Acesso em: fev. 2004.

DOCUMENTOS CONSULTADOS

- BRAMORSKI, M. M.; MARQUES, E. F. **Apostila de VRML Básico**. Universidade Federal de Santa Catarina. 1998. Apostila.
- CÂMARA, G. et al. **Conceitos básicos em Ciência da Geoinformação**. 1998. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/index.htm>> Acesso em: set. 2002.
- CASTIER, B. et al.. **Tutorial de VRML**. In: SIBGRAPH 97. Campos do Jordão: [s.n.], 1997.
- CHOHFI, R. E. Mapeamento urbano tridimensional. **InfoGEO**, Curitiba, v. 2, n. 7, p.52-54, mai./jun. 1999.
- CORTONA. Disponível em: <<http://www.parallelgraphics.com/products/downloads.>> Acesso em: fev. 2004.
- COSMO player. Disponível em: <<http://www.ca.com/cosmo/>> Acesso em: fev. de 2004.
- GEOVISTA Center. Disponível em: <<http://www.geovista.psu.edu/index.jsp>> Acesso em: abr. 2003.
- KOHLER, W. **A psicologia da gestalt nos dias atuais**. Disponível em: <<http://www.ufrgs.br/faced/slomp/edu01135/kohler2.htm>> Acesso em: ago. 2003.
- LEMMENS, M. Virtualising the 3D world. **GIM International**, [Amsterdã], v.14, n.04, p.48-51, abr. 2000.
- PINHO, J. B. **Publicidade e vendas na Internet: técnicas e estratégicas**. São Paulo: Summus. 2000.
- RANZINGER, M.; GLEIXNER G. GIS datasets for 3D urban planning. **Computer, Environment and Urban Systems**, [s.l.], v. 21, n. 2, p. 159-173, 1997.
- REED, C. Virtualising the 3D real world (5) – Importance of data integration and rendering to map visualisation. **GIM International**, [Amsterdã], v.14, n.8, p. 50-53, 2000.
- SLUTER, C. R. **Linguagem cartográfica**. Curso de Especialização em Geoprocessamento, CIEG - UFPR, 2001. Apostila.
- SWANSON, J. The cartographic possibilities of VRML. In: CARTWRIGHT, William; PETERSON, Michael P.; GARTNER, Georg. **Multimedia cartography**. [s. l.]: Springer, 1999. 343 p. p.181-94.
- TAYLOR, D. R. F. Perspectives on visualization and modern cartography. In: MACEACHREN A. M.; TAYLOR, D. R. F. **Visualization in cartography**. [s. l.]: Bergamon, 1994. p. 333-341.
- UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ. Sistema de bibliotecas. **Normas para apresentação de documentos científicos**. Curitiba: Ed da UFPR, 2000. v. 2,6,7 e 8.
- VRML 2.0 Viewer: Disponível em: <<http://www.microsoft.com/vrml/toolbar/>> Acesso em: fev. de 2004.

APÊNDICES

APÊNDICE A

TABELA A.1 – IDENTIFICAÇÃO, CLASSE, ALTURA E NÚMERO DE ALUNOS DAS EDIFICAÇÕES DO CENTRO POLITÉCNICO – 2003.

FIGURA A.1 – CROQUI DAS EDIFICAÇÕES DO CENTRO POLITÉCNICO

FIGURA A.2 – CROQUI DAS EDIFICAÇÕES – ADMINISTRAÇÃO

FIGURA A.3 – CROQUI DAS EDIFICAÇÕES – BIOLÓGICAS E EDUCAÇÃO FÍSICA

FIGURA A.4 – CROQUI DAS EDIFICAÇÕES – TECNOLÓGICAS

FIGURA A.5 – CROQUI DAS EDIFICAÇÕES – EXATAS, ENGENHARIAS E CIÊNCIAS DA TERRA

FIGURA A.6 – CROQUI DAS EDIFICAÇÕES – BANCO E ASSOCIAÇÕES

FIGURA A.7 – CROQUI DAS EDIFICAÇÕES – ESCOLA TÉCNICA DA UFPR

TABELA A.1 – IDENTIFICAÇÃO, CLASSE, ALTURA E NÚMERO DE ALUNOS DAS EDIFICAÇÕES DO CENTRO POLITÉCNICO – 2003.

Continua

Id	Classe	Altura (m)	Nº alunos	Obs.
1	5	9,28	0	
2	7	20,00	0	*
3	7	20,00	0	*
5	7	5,00	0	*
8	1	2,81	0	
9	1	3,00	0	*
10	2	4,85	0	
11	6	5,00	0	*
12	6	5,00	0	*
13	6	6,00	0	*
14	6	6,00	0	*
17	6	3,00	0	*
18	6	3,00	0	*
19	6	3,00	0	*
20	1	3,00	0	*
21	6	3,00	0	*
22	6	10,00	0	*
24	2	9,70	0	
25	2	3,72	0	
26	2	3,59	0	
28	4	7,79	0	
31	4	4,55	0	
32	4	8,12	0	
33	4	8,12	0	
34	4	24,88	0	
35	4	7,13	0	
36	1	3,40	0	
37	1	7,80	0	
39	4	3,40	0	
40	4	7,88	0	
41	1	7,88	0	
42	4	10,02	0	
43	4	7,14	0	
47	5	6,18	0	
48	5	6,18	0	
49	5	7,83	140	
50	5	6,18	0	
51	5	9,28	390	
52	5	6,18	0	
53	5	6,18	0	
54	5	7,83	390	
55	5	6,18	0	
56	5	9,28	570	
57	5	6,18	0	
58	5	6,18	0	
59	5	7,83	570	
60	5	6,18	0	
61	5	9,28	760	
62	5	6,18	0	
63	5	6,18	0	
64	5	7,83	570	
65	5	6,18	0	
66	5	9,28	90	
67	5	6,18	0	
68	5	6,18	0	
69	5	7,83	90	
70	5	6,18	0	
71	5	9,28	310	
72	5	6,18	310	
73	5	8,23	310	
74	5	6,18	0	
75	5	12,60	0	
76	1	7,35	0	
77	1	27,19	0	
78	1	7,35	0	
79	5	6,46	418	
80	5	6,00	846	*
81	1	6,37	0	
82	1	3,82	0	
83	2	3,25	0	
84	2	3,25	0	
88	2	3,25	0	
89	1	3,00	0	
90	6	4,86	0	
91	1	6,73	0	
92	4	8,80	0	
93	4	3,81	0	
94	4	3,81	0	
95	4	8,47	0	
98	4	7,14	0	
100	4	5,20	0	
101	4	10,13	0	
102	4	10,13	0	
105	4	10,00	0	*
106	4	10,00	0	*
107	4	1,00	0	*
111	4	19,66	0	
112	4	8,73	0	
113	4	4,36	0	
114	4	5,94	0	
115	4	7,14	0	
116	4	7,14	0	

TABELA A.1 – IDENTIFICAÇÃO, CLASSE, ALTURA E NÚMERO DE ALUNOS DAS EDIFICAÇÕES DO CENTRO POLITÉCNICO – 2003.

Conclusão

Id	Classe	Altura (m)	Nºalunos	Obs.
117	4	9,41	0	
122	4	6,83	0	
123	5	3,90	0	
124	5	5,12	0	
125	4	8,23	0	
126	4	6,54	0	
127	4	8,21	0	
128	4	8,21	0	
129	4	3,79	0	
132	4	3,79	0	
133	4	3,79	0	
134	4	3,79	0	
140	5	6,97	0	
141	5	6,84	0	
144	5	8,84	0	
145	5	8,84	0	
148	2	8,02	0	
149	2	10,53	0	
150	2	7,18	0	
151	2	7,18	0	
152	2	8,02	0	
153	2	6,25	0	
154	2	2,23	0	
155	2	8,02	0	
156	2	8,02	0	
157	2	10,53	0	
160	2	8,02	0	
162	2	4,46	0	
163	2	4,46	0	
164	2	4,24	0	
165	2	3,24	0	
166	2	7,18	0	
167	2	7,18	0	
168	2	8,02	0	
169	2	8,02	0	
171	2	6,28	0	
172	7	20,00	0	*
173	4	4,00	0	

(*) valor estimado

Legenda:		
Cor	Classe	Área
Verde	1	Administração
Vermelho	2	Biológicas e Educação Física
Amarelo	4	Tecnológicas
Azul	5	Exatas, Engenharias e Ciências da Terra
Roxo	6	Banco e Associações
Ciano	7	Escola Técnica da UFPR

FIGURA A.1 – CROQUI DAS EDIFICAÇÕES DO CENTRO POLITÉCNICO

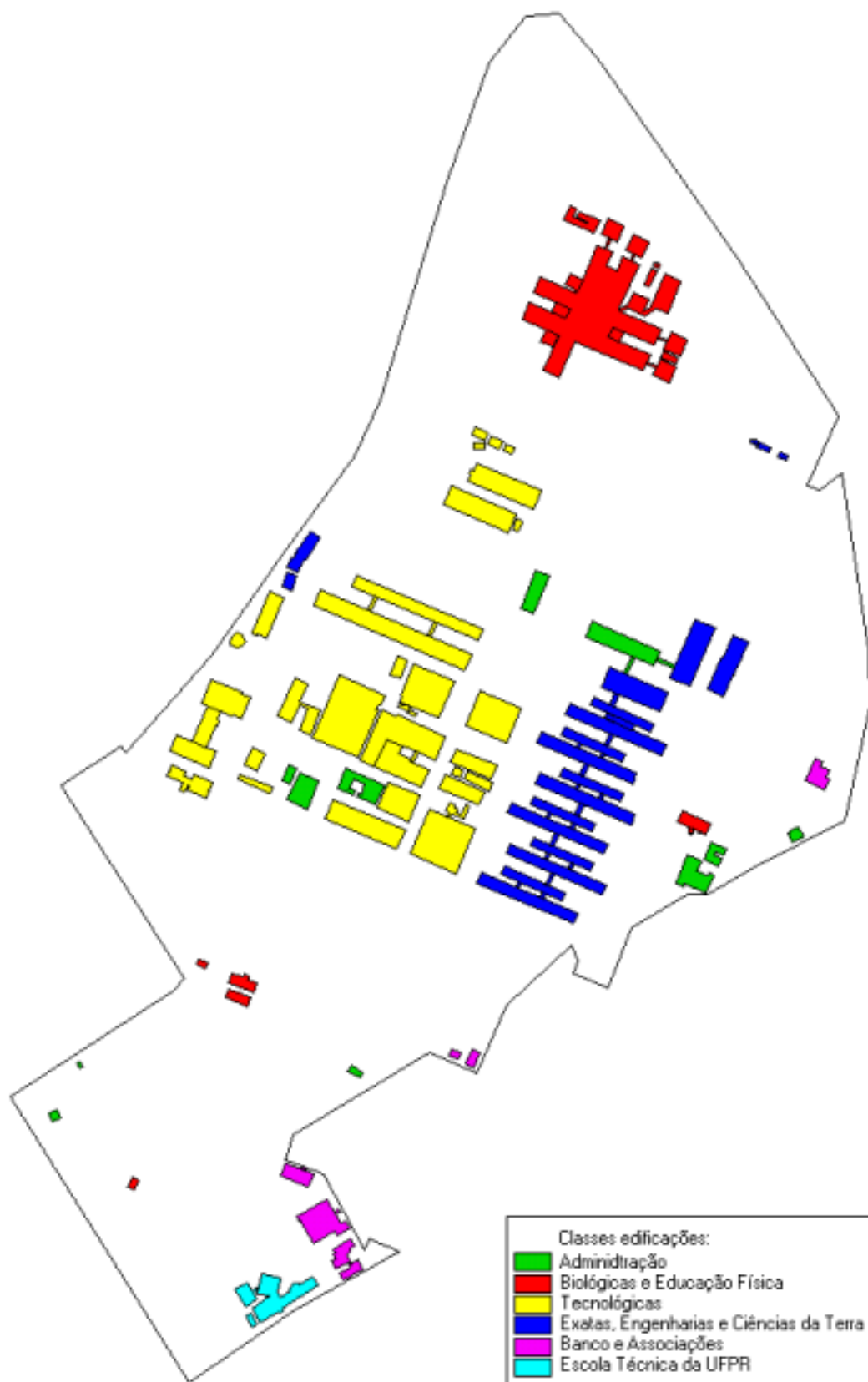


FIGURA A.2 – CROQUI DAS EDIFICAÇÕES – ADMINISTRAÇÃO

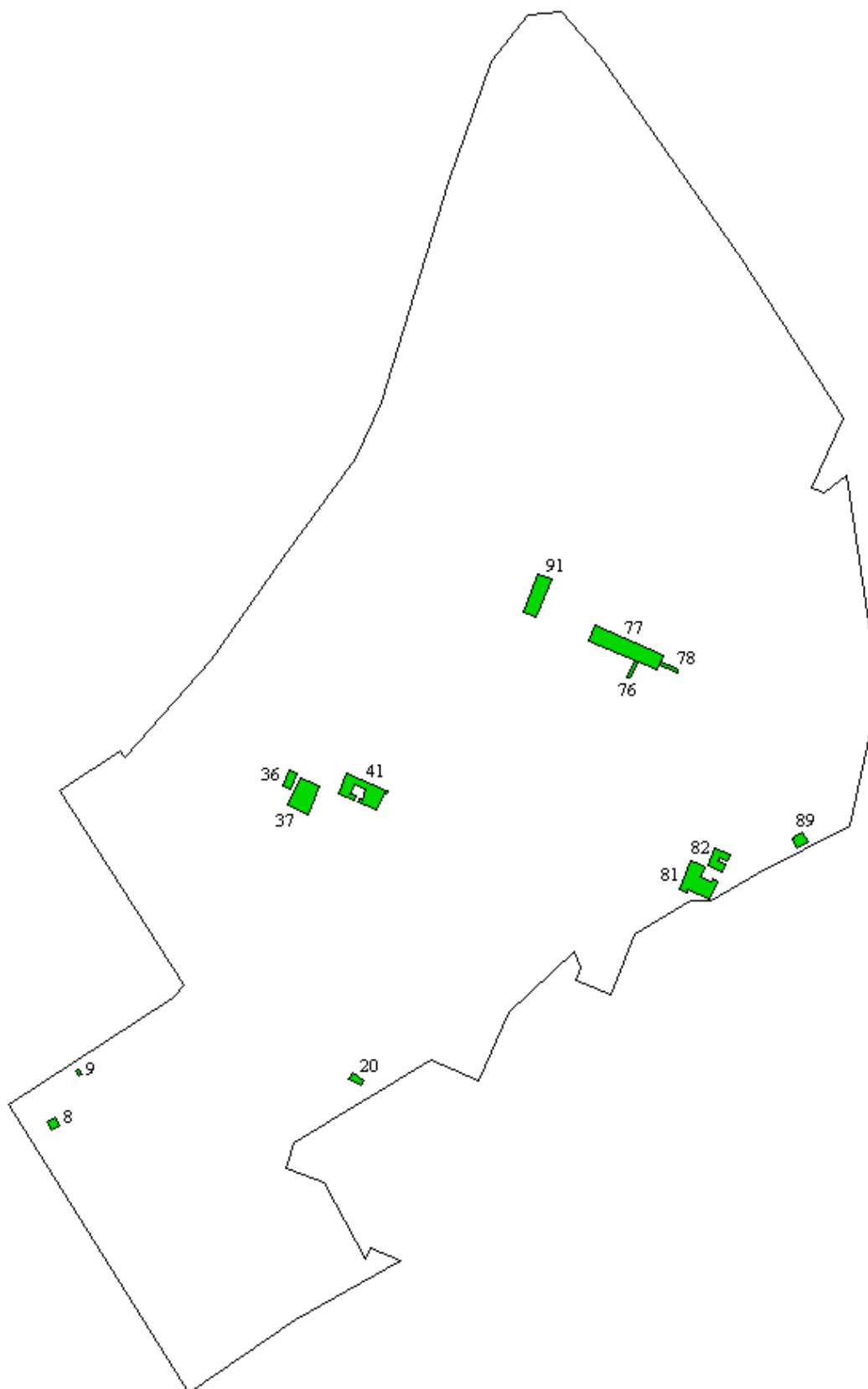


FIGURA A.3 – CROQUI DAS EDIFICAÇÕES – BIOLÓGICAS E EDUCAÇÃO FÍSICA

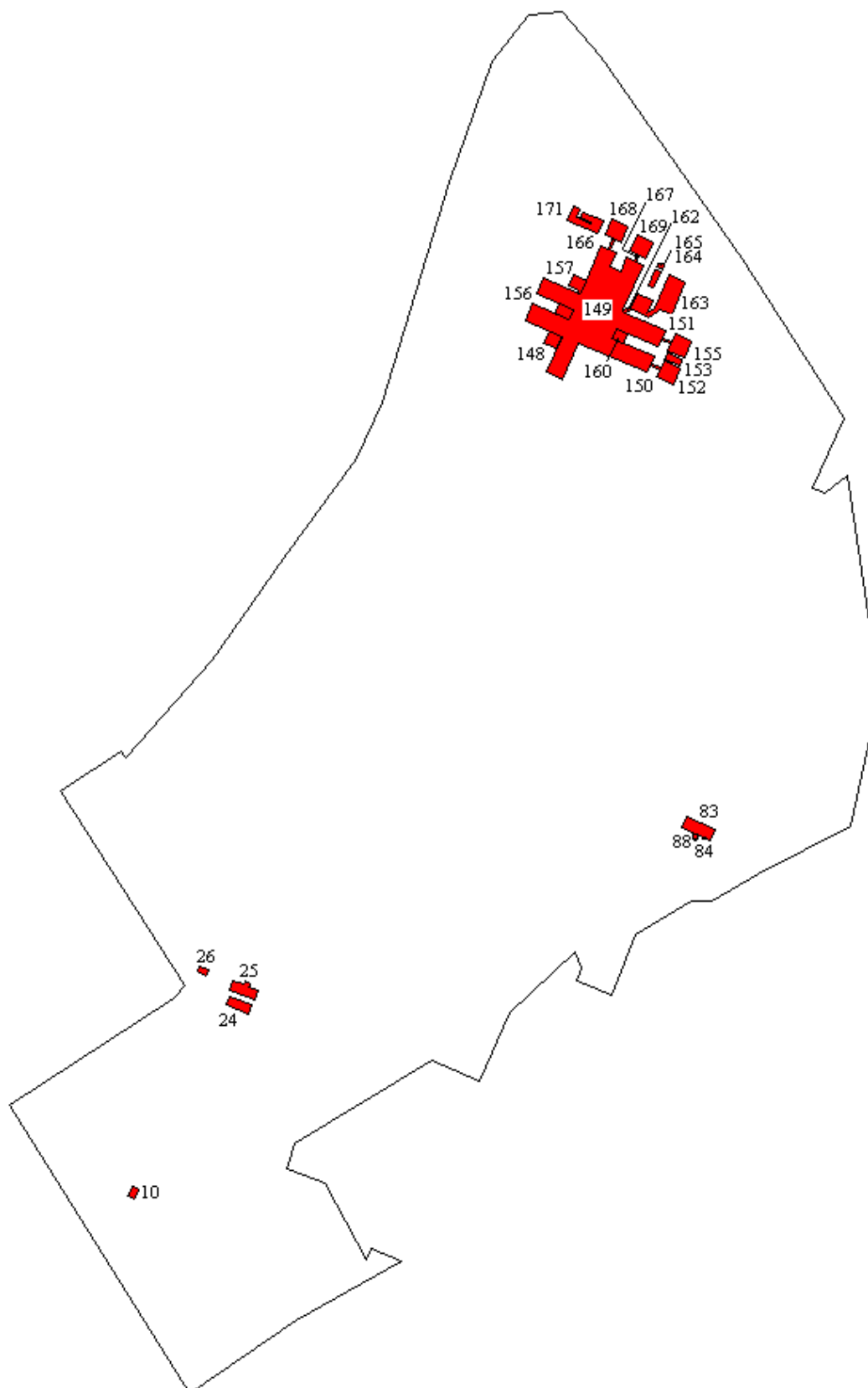


FIGURA A.4 – CROQUI DAS EDIFICAÇÕES – TECNOLÓGICAS



FIGURA A.5 – CROQUI DAS EDIFICAÇÕES – EXATAS, ENGENHARIAS E CIÊNCIAS DA TERRA

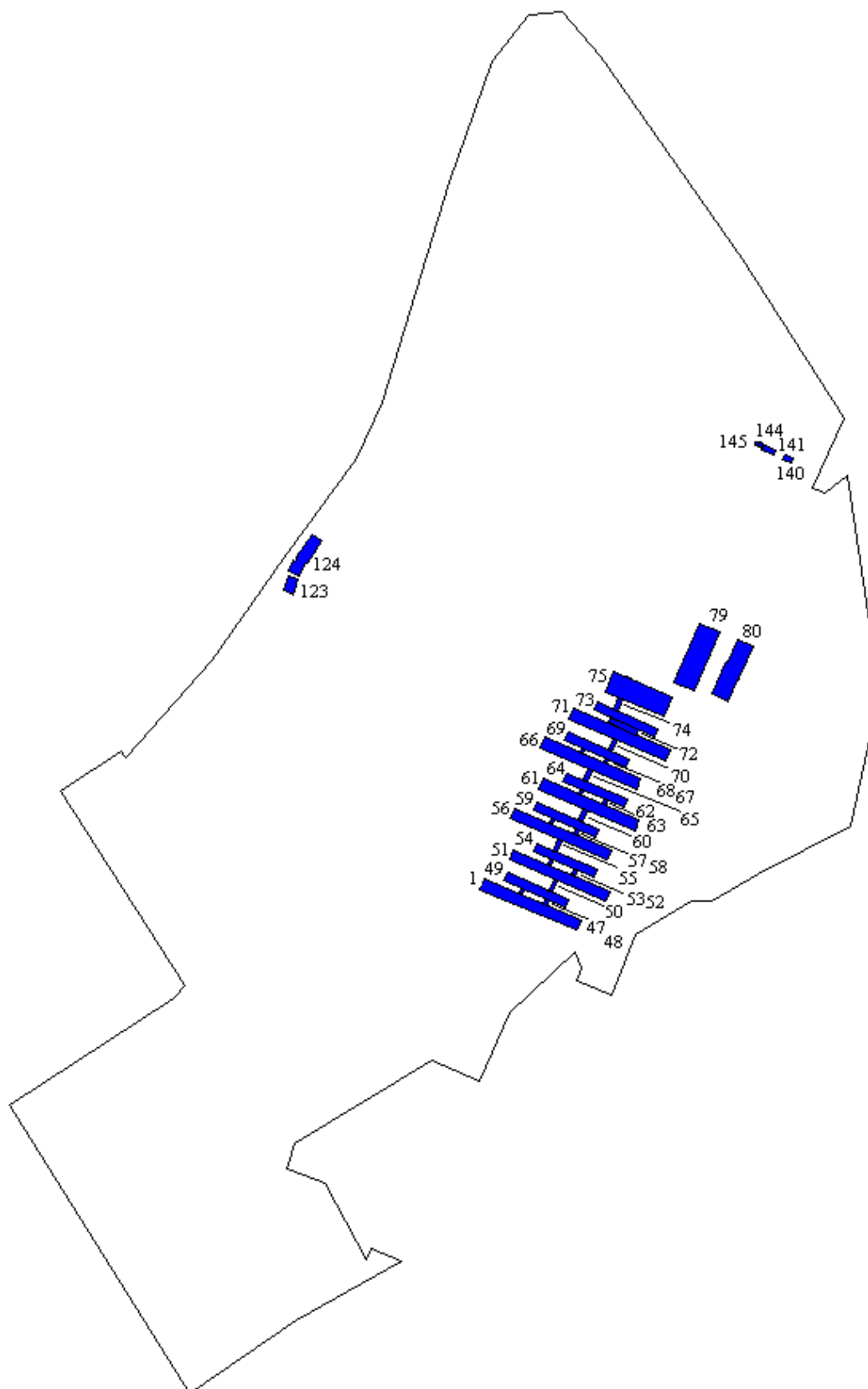


FIGURA A.6 – CROQUI DAS EDIFICAÇÕES – BANCO E ASSOCIAÇÕES

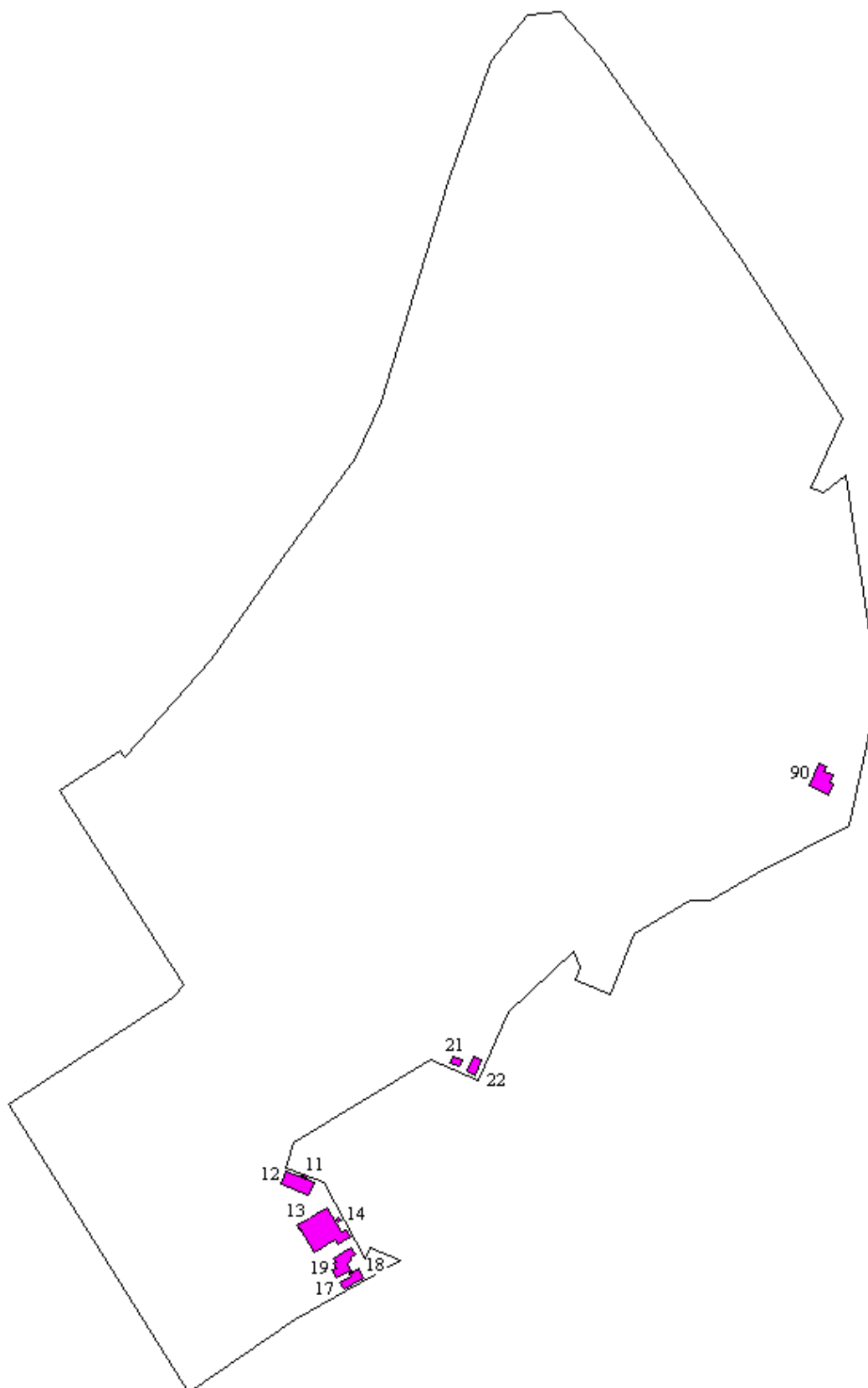
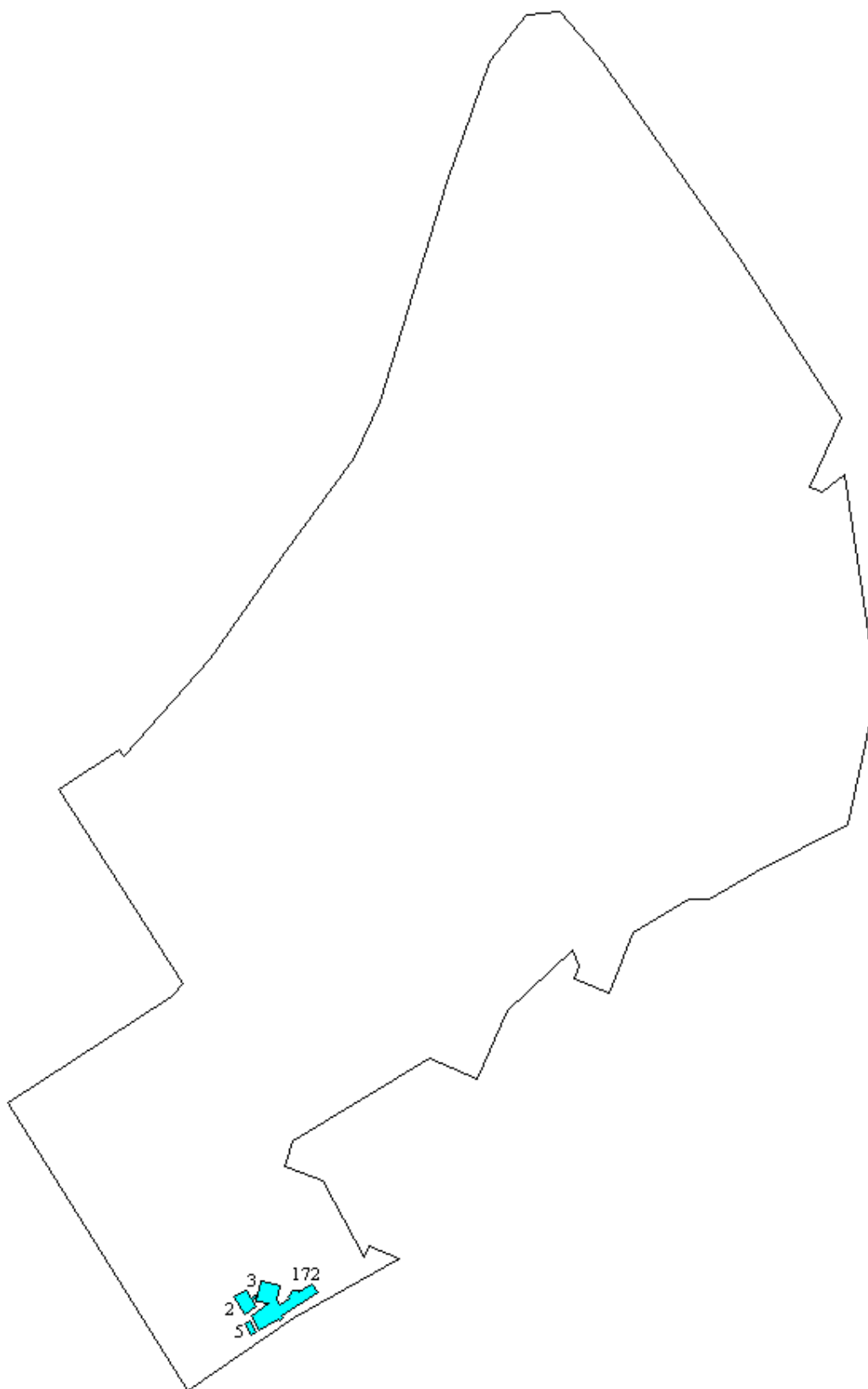


FIGURA A.7 – CROQUI DAS EDIFICAÇÕES – ESCOLA TÉCNICA DA UFPR



APÊNDICE B

Plug-ins

A navegação nos mundos virtuais através da *web* só é possível por meio de um *plug-in* que reconhece o mundo tridimensional e habilita a sua visualização. Existem vários *plug-ins*, que são encontrados gratuitamente na própria Internet e facilmente instalados. A navegação é bastante intuitiva, sendo feita através de movimentos utilizando o mouse ou as setas direcionais do teclado. Dentre esses *plug-ins*, destacam-se o Cosmo Player (Netscape), o VRML 2.0 Viewer (Microsoft Explore) e o Cortona VRML (Parallel Graphics).

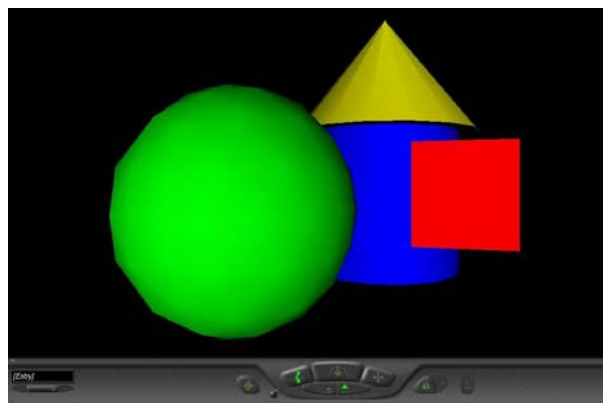
Segundo TECNOLOGIAS (2004), um *plug-in* pode ser definido como um arquivo que contém dados e ferramentas usadas para alterar, melhorar ou estender a operação de um programa principal, que no caso deste trabalho é o *browser* usado para o acesso à Internet.

Pode-se considerar duas partes na interface de um *plug in*, as barras de ferramentas (onde se especifica o tipo de navegação e a posição do usuário ou navegador) e a janela de visualização 3D (onde é exibido a cena 3D).















Assim como no mundo real opera-se uma câmera de filmar, de forma semelhante acontece a navegação no mundo virtual, com posição e orientação no espaço. Dessa maneira, é como se ao navegar pelo mundo virtual, uma pessoa estivesse com uma câmera, determinando seus movimentos através da barra de ferramentas e, assim, torna-se possível a observação e interação do usuário com o mundo virtual.

A seguir, é dada uma breve especificação dos principais recursos de navegação dos *plug-ins*, visando uma familiarização mais rápida do usuário com os mundos virtuais. A Figura B.1 ilustra a interface do Cosmos Player e em seguida, no Quadro B.1, as suas principais funções são descritas:

FIGURA B.1 – COSMOS PLAYER



QUADRO B.1 – DESCRIÇÃO DA FUNÇÕES DO PLUG-IN COSMOS PLAYER

Funções:		Descrição:
	Seek	Leva o ponto de vista para o local selecionado por um clique do mouse;
	Tilt	Rotaciona o ponto de vista sem mover o modelo;
	Go	Aproxima, afasta ou rotaciona para os lados o ponto de vista;
	Slide	Translada o ponto de vista para cima, para baixo ou para os lados;
	Straigten	Fixa o ponto de vista de forma que este fique perpendicular ao eixo x;
	Redo move	Refaz um movimento anteriormente desfeito;
	Undo move	Desfaz um movimento;
	Float	Permite movimentos desprovidos dos efeitos da gravidade;
	Gravity	Os movimentos realizados são sujeitos aos efeitos da gravidade;
	Change control	Disponibiliza outras funções;
	Zoom	Aproxima ou afasta o ponto de vista do modelo;
	Rotate	Mantém o ponto de vista e rotaciona o modelo;
	Pan	Translada o modelo em qualquer direção à frente do ponto de vista.
	[Entry]	Movimenta a cena através dos pontos de vista predeterminados.

A Figura B.2 e a Figura B.3 mostram a interface do Viewer e do Cortona, respectivamente, mostrando uma grande semelhança entre elas. O Quadro B.2 e o Quadro B.3 descrevem, respectivamente, as funções do Viewer e do Cortona.

FIGURA B.2 – VRML 2.0 VIEWER

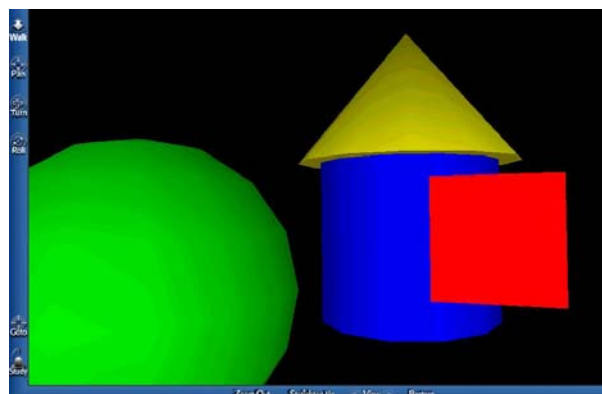
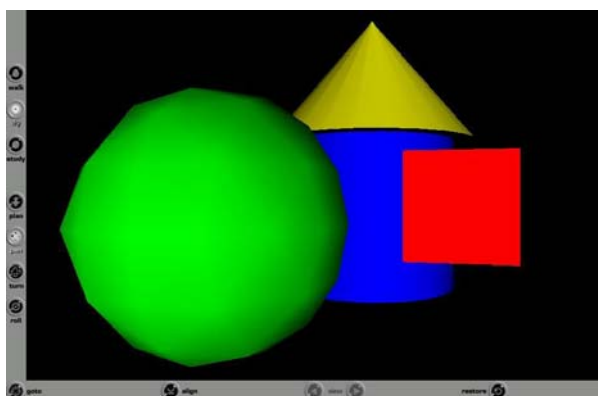












FIGURA B.3 – CORTONA



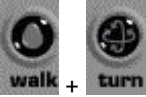


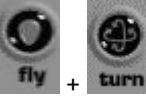

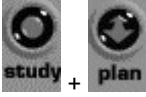
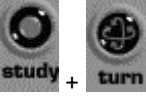
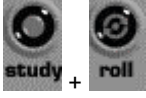




QUADRO B.2 – DESCRIÇÃO DAS FUNÇÕES DO VRML 2.0 VIEWER

Funções:	Descrição:
	Os movimentos realizados levam em consideração os efeitos da gravidade, aproxima ou afasta o ponto de vista do usuário;
	Translada o ponto de vista do usuário em qualquer sentido;
	Rotaciona o ponto de vista atual em qualquer direção;
	Rotaciona o ponto de vista atual em torno do eixo z local;
	Leva o ponto de vista do usuário ao local clicado com o mouse;
	Rotaciona o modelo em qualquer direção e o ponto de vista do usuário é mantido;
	Afasta o ponto de vista até que todos os objetos possam ser visualizados;
	Fixa o ponto de vista de modo para que este seja perpendicular ao eixo x;
	Estabelece uma movimentação no mundo virtual através de pontos de vista predeterminados;
	Volta ao ponto de vista inicial;



QUADRO B.3 – DESCRIÇÃO DAS FUNÇÕES DO CORTONA

Continua

Funções:	Descrição:
	O movimento é feito no plano horizontal com ação de aproximar, afastar ou olhar para a esquerda ou para a direita;
	O movimento é feito no plano horizontal, com ação de aproximar, afastar ou posicionar à esquerda ou à direita;
	Muda o ângulo do ponto de vista em qualquer direção em relação o modelo;
	A rotação do ponto de vista pode ser feita no eixo horizontal e vertical, como aproximar, afastar ou olhar à direita e à esquerda;
	O movimento do ponto de vista é feito no plano vertical, como subir, descer e posicionar-se à direita e à esquerda;
	Usado para modificar o ângulo do ponto de vista em relação ao cenário, como olhar para cima e para baixo, para a direita e para a esquerda;
	Usado para rotacionar o ponto de vista atual em torno do eixo z local;
	Usado para examinar um objeto a partir de vários ângulos e aproximando e afastando, restrito ao plano horizontal;
	Usado para examinar um objeto sem restrições espaciais;
	Inclina o ponto de vista para cima, para baixo, para a direita ou para a esquerda, a partir do seu ponto central;
	Leva o ponto de vista próximo ao ponto do modelo selecionado;
	Volta ao ponto de vista inicial;

QUADRO B.3 – DESCRIÇÃO DAS FUNÇÕES DO CORTONA

Conclusão

	Enquadra o modelo na janela até que todos os objetos possam ser visualizados;
	Alinha o eixo horizontal e direcional do ponto de vista de forma a estarem paralelos ao plano horizontal do modelo.

Estes *plug ins* são encontrados gratuitamente em vários *sites* da *web* para *download*, com instalação fácil e rápida. A seguir são citados alguns endereços eletrônicos:

- Cosmo Player. Disponível em:
<<http://ca.com/cosmo/>>
- VRML 2.0 Viewer: Disponível em: <<http://www.microsoft.com/vrml/toolbar/>>
- Cortona. Disponível em: <<http://www.parallelgraphics.com/products/downloads>>