

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE INFORMÁTICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM COMPUTAÇÃO

Ambientes VRML para o ensino-aprendizagem de
matemática: modelo conceitual e estudo de caso

por

ADRIANO PASQUALOTTI

Dissertação submetida à avaliação,
como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre
em Ciência da Computação

Profa. Carla Maria Dal Sasso Freitas
Orientadora

Porto Alegre, setembro de 2000.

CIP – CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO

Pasqualotti, Adriano

Ambientes VRML para o ensino-aprendizagem de matemática: modelo conceitual e estudo de caso / Adriano Pasqualotti. – Porto Alegre: PPGC da UFRGS, 2000.

100p.: il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Programa de Pós-Graduação em Computação, Porto Alegre, 2000. Orientador: Freitas, Carla Maria Dal Sasso.

1.Realidade Virtual. 2.Realidade Artificial. 3.Ambiente Virtual. 4.Mundo Virtual. 5.Interface Homem-Máquina. 6.Computação Gráfica. I. : Freitas, Carla Maria Dal Sasso. II. Título.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

Reitora: Wraza Maria Panizzi

Pró-Reitor de Pós-Graduação: Prof. Franz Rainer Semmelmann

Diretor do Instituto de Informática: Prof. Philippe Olivier Alexandre Navaux

Coordenadora do PPGC: Profa. Carla Maria Dal Sasso Freitas

Bibliotecária-Chefe do Instituto de Informática: Beatriz Regina Bastos Haro

Não ensine os meninos a aprender pela força e severidade, mas conduza-os por aquilo que os diverte para que possamos descobrir melhor a inclinação de suas mentes.

Platão

Agradecimentos

À professora Carla Maria Dal Sasso Freitas, por sua paciência, seus interativos conselhos e sua imersiva orientação. Uma pessoa que fez de tudo para facilitar o meu trabalho e cujo suporte jamais me faltou. Pelas reiteradas demonstrações de amizade, a minha gratidão pessoal.

Aos professores do mestrado com os quais tive a possibilidade de, através das disciplinas que ministraram, adquirir o conhecimento que muito auxiliou na realização deste trabalho.

À Universidade de Passo Fundo, na pessoa do seu reitor, professor Ilmo Santos, pela liberação da bolsa de estudo, possibilitando, assim, o desenvolvimento deste trabalho. Ao Instituto de Ciências Exatas e Geociências, na pessoa de sua diretora, professora Carla Denise Tedesco, por incentivar o desenvolvimento do mestrado interinstitucional entre a UPF e a UFRGS. Ao Laboratório Central de Informática da UPF, pela permissão de uso dos computadores para a aplicação do protótipo. À Biblioteca Central da UPF, pelos empréstimos dos livros e materiais didáticos.

Aos colegas da turma de mestrado, pelas experiências compartilhadas e solidariedade nos momentos críticos da jornada de estudo e trabalho, os quais, de uma forma ou outra, marcaram nossas vidas.

Aos meus amigos Marcelo Trindade Rebonatto, Marcos José Brusso e Alexandre Zanatta, pelas valiosas discussões nos corredores da UPF sobre o assunto estudado. Também, ao Marcos pela ajuda na implementação do arquivo de *log*.

À diretora da Escola Menino Jesus, professora Elena Bini, que, com sua visão pioneira, incentivou e apoiou o uso do protótipo pelos alunos da 7^a série. À vice-diretora e coordenadora das 7^{as} séries, professora Rosane Werworm; ao professor da 7^a A, Olmir João Fonini; à professora da 7^a B, Idite Terezinha Demartini; à coordenadora pedagógica, professora Maria Elena Cecon Leite, o meu muito obrigado. Aos alunos, um agradecimento especial pela aplicação desempenhada por eles no cumprimento das tarefas no mundo virtual.

Aos meus alunos da disciplina de Introdução à Informática do curso de Ciências - Licenciatura Plena da UPF, que compartilharam comigo as experiências do uso da realidade virtual não-imersiva em sala de aula.

À minha esposa Loreci, ao meu filho Adriano Daniel e à minha filha Larissa Gabriele, pela compreensão e vibração na realização deste projeto de vida.

Ao meu pai Deoclecio e à minha mãe Jandira, pelo apoio e exemplo de vida, traduzidos na persistência da busca de objetivos e no aprendizado dos valores cristãos; aos meus irmãos José Antônio, Paulo Roberto e André, pelo incentivo.

A Deus, pela oportunidade de conquistar mais um significado de vida.

Sumário

Lista de Abreviaturas	7
Lista de Figuras	8
Lista de Tabelas	10
Resumo	11
Abstract	12
1 Introdução	13
2 Realidade virtual na educação	16
2.1 Considerações iniciais	16
2.2 Experiências de mundo	19
2.3 AVs não-imersivos	20
2.3.1 A linguagem VRML	20
2.3.2 Browsers VRML	22
2.3.3 Futuro da especificação de VRML.....	23
2.3.4 Problemas com VRML	24
2.3.5 Padrões de interfaces	25
2.4 Tecnologias educacionais	27
2.5 Aplicação de tecnologias na educação matemática	29
2.5.1 Enfoque na resolução de problemas	33
2.5.2 Utilização da história da matemática.....	35
2.5.3 Busca de tecnologias de informação	35
2.6 Ambientes de aprendizagem em VRML	36
2.7 Resumo	37
3 Ambiente de aprendizagem	39
3.1 Considerações iniciais	39
3.1.1 Ambiente familiar	41
3.1.2 Representações matemáticas	42
3.1.3 Avaliação de desempenho do aluno	45
3.2 Mundo VRML MAT^{3D}	49
3.3 Arquivo de log	55
3.4 Registro das ações do aluno no AV	56
3.5 Resumo	62
4 Experimentos realizados	63
4.1 Tema e problema da pesquisa	64
4.2 Justificativa teórica e prática	64
4.3 Metodologia	65
5 Análise e interpretação dos resultados	68
5.1 Análise do instrumento de coleta de dados	68
5.2 Análise descritiva	72
5.3 Análise da correlação	75
5.4 Análise fatorial	79
5.5 Resumo	80
6 Conclusões	81
6.1 Falhas detectadas	83
6.2 Trabalhos futuros	83

Anexo A Tabelas	85
Anexo B Histogramas das notas dos alunos	92
Anexo C Questionário	93
Bibliografia.....	94
Outras fontes não impressas	99

Lista de Abreviaturas

AVs	Ambientes Virtuais
RV	Realidade Virtual
VRML	Virtual Reality Modeling Language
IBGE	Instituto Brasileiro de Estatística e Geografia
MEC	Ministério da Educação
PC	Personal Computer
3D	Tridimensional
MPEG	Motion Picture Experts Group
WWW	World Wide Web
HTML	HyperText Markup Language
URL	Uniform Resource Locator
ISO	International Standards Organization
2D	Bidimensional
VAG	VRML Architecture Group
CD	Committee Draft
DIS	Draft International Standard
Mime	Multipurpose Internet Mail Extension
EAI	External Authoring Interface
X3D	Extensible 3D
W3C	Web 3D Consortium
SAI	Script Authoring Interface
DLL	Dynamic Link Library
CD-ROM	Compact Disk-Read Only Memory
CAI	Computer Assisted Instruction
HITL	Human Interface Technology Laboratory
MAT ^{3D}	Mundo da Matemática Tridimensional
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
<i>log</i>	Login
MHz	Mega Hertz
MB	Mega Byte
RAM	Random Access Memory
ASCII	American Standard Code For Information Interchange
CGI	Common Gateway Interface
LCI	Laboratório Central de Informática
UPF	Universidade de Passo Fundo
GB	Giga Byte

Lista de Figuras

Figura 2.1 - As teorias de Tikhomirov.	18
Figura 2.2 - Os princípios de Papert.	18
Figura 2.3 - Arquivo VRML exibido no <i>browser</i> VRML CosmoPlayer 2.1.	22
Figura 2.4 - Exemplo de problema ao utilizar um <i>browser</i> incompatível.	25
Figura 2.5 - <i>Browser</i> VRML com conexão para vários padrões de interfaces.	26
Figura 3.1 - Página inicial do ambiente MAT ^{3D}	39
Figura 3.2 - Mundo VRML MAT ^{3D}	40
Figura 3.3 - Estrutura do AV MAT ^{3D}	41
Figura 3.4 - Diagrama da sessão “ambiente familiar”	42
Figura 3.5 - Diagrama da sessão “representações matemáticas”	43
Figura 3.6- Plano dos <i>frames</i> da sessão “representações matemáticas”	43
Figura 3.7 - Texto sobre geometria euclidiana.	44
Figura 3.8 - Exemplos de objetos construídos.	45
Figura 3.9 - Diagrama da sessão “avaliação de desempenho do aluno”.	46
Figura 3.10 - Exercícios propostos e <i>feedback</i> proporcionado pelo AV.	47
Figura 3.11 - <i>Feedback</i> final do AV ao responder aos exercícios.	47
Figura 3.12 - Hipertexto que contém funções para criptografar as palavras-chave.	48
Figura 3.13 - Exemplos de páginas com formulários para digitar as palavras-chave. ...	49
Figura 3.14 - Definição para visualização de uma cena no mundo VRML.	50
Figura 3.15 - Definição de <i>link</i> para o mundo MAT ^{3D}	50
Figura 3.16 - HTML que define o conteúdo dos <i>frames</i>	51
Figura 3.17 - <i>Script</i> que controla a exibição da janela do <i>browser</i>	51
Figura 3.18 - <i>Script</i> que define a forma de exibição da janela do <i>browser</i>	52
Figura 3.19 – Exemplo de uso para o <i>node</i> PlaneSensor.	52
Figura 3.20 - Função que cria um arquivo VRML.	53
Figura 3.21 - Diagrama do <i>script</i> que controla os exercícios.	53
Figura 3.22 - Definição das funções do <i>script</i>	54
Figura 3.23 - Função que testa as respostas.	54
Figura 3.24 - Função que apresenta o resultado da avaliação.	55
Figura 3.25 - Mecanismo de registro no arquivo de <i>log</i>	56
Figura 3.26 - Propriedade <code>document.cookie</code> e método <code>prompt</code>	56
Figura 3.27 - Definição da prototipação dos botões de controle no mundo MAT ^{3D}	58
Figura 3.28 - Estrutura do <i>nodo</i> que define os botões de controle.	59

Figura 3.29 - <i>Nodo</i> que define o <code>url</code> que será ativado pelos botões de controle.	59
Figura 3.30 - JavaScript que define a função que ativa os botões de controle.	60
Figura 3.31 - Definição das funções que ativam os botões de controle.	61
Figura 3.32 - Definição dos parâmetros dos botões de controle.	61
Figura 3.33 - Mecanismo de registro da ação do aluno no arquivo de <i>log</i>	62
Figura 4.1 - Alunos utilizando o protótipo no laboratório da UPF.	63
Figura 4.2 - Alunos do curso de Ciências utilizando o protótipo.	65
Figura 4.3 - Porcentagem de acesso por nome de aluno.	66
Figura 4.4 - Porcentagem de acessos válidos e não-válidos no arquivo de <i>log</i>	66
Figura 5.1 - Distribuições da idade dos alunos em relação à categoria aluno.	69
Figura 5.2 - Distribuições do número de escolhas em relação ao tipo de cabeçalho.	73
Figura 5.3 - Distribuições do número de ações em relação ao tipo de ações.	73
Figura 5.4 - Distribuições das respostas efetuadas em relação aos exercícios.	74
Figura 5.5 - Distribuição das notas nos trimestres em relação aos alunos.	75
Figura 5.6 - Correlação entre o número de escolha do tipo de cabeçalho e o dia.	76
Figura 5.7 - Correlação entre a as ações na exibição ou construção das figuras.	77
Figura 5.8 - Correlação entre a nota obtida com o protótipo e a nota nos trimestres.	77
Figura 5.9 - Escore do cabeçalho tipo I em relação ao cabeçalho tipo II.	78
Figura 5.10 - Escore do tempo de solução em relação ao número de acertos.	78
Figura 5.11 - Distribuição da escolha do tipo de cabeçalho referente ao dia.	79
Figura 5.12 - Distribuição do tempo de acesso referente ao número de acessos.	80
Figura B.1 - Distribuição das notas no I trimestre em relação aos alunos.	92
Figura B.2 - Distribuição das notas no II trimestre em relação aos alunos.	92
Figura B.3 - Distribuição das notas no III trimestre em relação aos alunos.	92

Lista de Tabelas

Tabela 2.1 - Descrição das extensões e do tipo Mime para arquivos VRML.	23
Tabela 5.1 - Distribuição dos alunos por sexo.	68
Tabela 5.2 - Distribuição dos alunos por sexo que trabalham com computador.....	69
Tabela 5.3 - Distribuição dos alunos que trabalham com computador por local.	69
Tabela 5.4 - Distribuição dos alunos, por sexo, que têm computador.....	70
Tabela 5.5 - Distribuição dos alunos, por sexo, que têm internet.	70
Tabela 5.6 - Distribuição dos alunos que têm computador e internet.	70
Tabela 5.7 - Distribuição dos alunos que têm internet por utilização dada.....	71
Tabela 5.8 - Distribuição dos alunos que têm algum conhecimento sobre VRML.....	71
Tabela 5.9 - Distribuição dos alunos que têm internet e conhecimento sobre VRML...	71
Tabela 5.10 - Resultados das respostas dadas pelos alunos do curso de Ciências.	72
Tabela 5.11 - Correlação entre o tipo de cabeçalho e o dia.	76
Tabela 5.12 - Correlação entre as ações.	76
Tabela 5.13 - Correlação entre o desempenho e as notas de Matemática.	77
Tabela A.1 - Distribuição das respostas por questão.....	85
Tabela A.2 - Distribuição das respostas por aluno.	85
Tabela A.3 - Distribuição dos resultados das respostas por aluno.	86
Tabela A.4 - Distribuição do tempo para responder às questões por aluno.	86
Tabela A.5 - Distribuição dos resultados das respostas por questões.	86
Tabela A.6 - Distribuição do resultado das respostas e do tempo por aluno.....	87
Tabela A.7 - Distribuição das palavras digitadas por aluno.	87
Tabela A.8 - Distribuição da indicação das respostas e do tempo por aluno.	87
Tabela A.9 - Distribuição dos acessos por aluno.....	88
Tabela A.10 - Distribuição dos acessos por data e aluno.	88
Tabela A.11 - Distribuição do tempo de acesso por data e aluno.	89
Tabela A.12 - Distribuição da ação dos alunos em figuras_botoes.htm.....	89
Tabela A.13 - Distribuição do tempo por ação dos alunos em figuras_botoes.htm.....	90
Tabela A.14 - Distribuição da escolha de cabeçalho por aluno.....	90
Tabela A.15 - Distribuição da escolha de cabeçalho por data e aluno.	91
Tabela A.16 - Distribuição da escolha do tipo de cabeçalho por aluno.	91

Resumo

O uso de Ambientes Virtuais (AVs) não-imersivos em educação ainda não foi devidamente explorado e estudado, porém alguns autores já demonstram a diferença que a Realidade Virtual (RV) pode fazer no aprendizado. A linguagem Virtual Reality Modeling Language (VRML) é uma proposta para a introdução de AVs não-imersivos na internet; é uma linguagem independente de plataforma, que permite a criação de AVs por onde se pode passear, visualizar objetos por ângulos diferentes e com eles interagir. Assim, os estudantes podem beneficiar-se dessa tecnologia, pois ela lhes permite acessar objetos que descrevem assuntos e contextos do conteúdo abordado e informações verbal-escritas da disciplina, podendo manuseá-los. Este trabalho possui três partes: na primeira, investigam-se as questões que envolvem o uso de AVs no ensino-aprendizagem de matemática para o desenvolvimento dos aspectos cognitivos; as experiências e as condições necessárias para o uso dessa tecnologia na educação de matemática, como a construção do conhecimento e o desenvolvimento de aspectos cognitivos e lógico-matemáticos. Na segunda parte, propõe-se um modelo conceitual de um ambiente de aprendizagem para o ensino-aprendizagem de matemática, sendo, após, realizada a implementação do ambiente de aprendizagem proposto. A terceira parte reporta um estudo de caso, no qual um AV modelado em VRML é aplicado aos alunos de uma escola. Alguns dados dessa aplicação são levantados e analisados estatisticamente com o fim de se avaliar o desempenho do uso do protótipo no ensino-aprendizagem de matemática.

Palavras-chave: ambientes virtuais não-imersivos, VRML, HTML, WWW, ensino-aprendizagem de matemática, aspectos cognitivos, análise estatística.

Abstract

Title: “VRML Environments for teaching math science: conceptual model and case study”

The use of non-immersive virtual environments in education has not been studied, as it should have been. However, some authors have already demonstrated the benefits coming from using such technology. VRML - Virtual Reality Modeling Language provides means for using virtual environments in the Internet. It is a platform-independent language that allows the specification of virtual environments where users can walk in, observe different objects and interact with them. Students can benefit from this technology, since it allows them to access objects describing subjects that students should study. This work is presented in three parts. In the first one, we investigate the use of virtual environments in math education for developing cognitive aspects, the experiences and necessary conditions for using this technology in improving logic and mathematical thinking. In the second part, we present both the conceptual model and the implementation of an educational tool intended to help in math education. The third part is a case study: we have developed a virtual environment using VRML, and it has been applied in math classes for 7th grade students. Data collected during this experiment has been analyzed statistically and some conclusions can be drawn based on those results, and observations.

Keywords: non-immersive virtual environments, VRML, HTML, WWW, mathematics teaching-learning, cognitive aspects, statistical analysis.

1 Introdução

Apesar de, nos últimos anos, ter ocorrido uma disseminação do uso do computador em escolas do ensino fundamental e médio, poucos são os centros de ensino público no país a possuírem recursos computacionais. Observa-se, entretanto, que o ensino moderno não pode se limitar apenas ao uso do computador para dar aula. É necessária a disseminação da filosofia computacional nos centros de ensino para que a informática possa auxiliar no processo de ensino-aprendizagem¹ e enriquecimento dos conhecimentos dos alunos, bem como no auxílio e aperfeiçoamento dos professores e pesquisadores. Isso é muito importante ainda mais se forem levados em conta os dados sobre a situação escolar no Brasil, que apontam números preocupantes.

Segundo o Censo Demográfico de 1991, o Brasil ingressou na década de 1990 com cerca de 86% das crianças entre 7 e 14 anos dentro da escola, número que representa um *avanço* se comparado aos da década de 1950, quando o índice era de 38%. Porém, ainda hoje, não existe uma educação de qualidade para todos, o que se constitui numa das principais causas da evasão e repetência, dois dos sérios problemas da educação no país. Segundo o IBGE, mais de 50% dos alunos repetem a 1ª série; apenas 39,2% das crianças brasileiras concluem o ensino fundamental, porém repetem, em média, quatro vezes. Os dados do MEC de 1991 indicam que, dos 29,9 milhões de matrículas no ensino fundamental, 17,4% são de alunos repetentes. Os fatores que mais contribuem para a repetência são a pouca base educacional dada pela família e pela pré-escola, metodologia e currículos inadequados e professores despreparados; a falta de manutenção das instalações físicas também colabora para essa situação por resultar num ambiente inadequado para o estudo. Segundo a mesma fonte, a evasão no ensino fundamental é de, aproximadamente, 13% por série. Antes de desistir do ensino fundamental, os alunos ficam, em média, 6,4 anos na escola [ALM 95].

Considerando a existência de 30 milhões de analfabetos e cerca de 22 milhões de pessoas fora do mercado de trabalho por absoluta desqualificação profissional, torna-se imperativa a busca de ações que possibilitem a rápida inversão desse quadro alarmante. Daí a necessidade de implantação de programas educacionais capazes de propiciar ganhos não somente em termos de dimensões geográficas, mas também de qualidade e velocidade de aprendizagem, sem, contudo, comprometer a qualidade.

Para que isso se torne realidade, é necessário que a informática seja utilizada na maioria das instituições de ensino e pesquisa. Adicionalmente, a busca de novos modelos e tecnologias dentro da informática, para apoio ao ensino, deve ser orientada para a solução ou minimização dos problemas de ensino-aprendizagem identificados.

Nesse sentido, a RV é uma dessas tecnologias, pois enfatiza características como utilização de dispositivos multissensoriais, navegação em espaços tridimensionais, imersão no contexto da aplicação, simulação de ambientes e interação em tempo real. Sintetizando outras definições de RV, pode-se dizer que é uma técnica avançada de interface por meio da qual o usuário pode realizar imersão, navegação e interação em um ambiente sintético tridimensional gerado por computador, utilizando canais multissensoriais.

¹ Neste texto a expressão “ensino-aprendizagem” significa as intercorrelações entre aquele que aprende e aquele que ensina, abrangendo, nesse caso, também o contexto social no qual estão inseridos.

Um sistema de RV imersivo envolve recursos ligados à percepção, *hardware*, *software*, interface do usuário, fatores humanos e aplicações. A RV também pode ser considerada como a junção de três idéias básicas: imersão, interação e envolvimento. A idéia de imersão está ligada com a sensação de se estar dentro do ambiente. A idéia de envolvimento, por sua vez, está ligada ao grau de motivação para o engajamento de uma pessoa em determinada atividade. O envolvimento pode ser passivo, como ler um livro ou assistir à televisão, ou ativo, como participar de um jogo com algum parceiro. A RV tem potencial para os dois tipos de envolvimento ao permitir a exploração de um ambiente virtual e ao propiciar a interação do usuário com um mundo virtual dinâmico [KIR 97].

Os AVs não-imersivos são, sem dúvida, os exemplos mais comuns de RV, cuja principal vantagem é o seu baixo custo. Como ponto negativo dessa forma de RV está a completa falta de sensação de imersão por parte do usuário. Entretanto, isso não impossibilita o uso desses sistemas em aplicações educacionais, desde que a qualidade da experiência não-imersiva alcançada possibilite uma aprendizagem sobre o conteúdo abordado [CRO 97].

Os AVs não-imersivos possibilitam diferentes tipos de experiências que os estudantes regularmente encontram na escola. Os processos psicológicos ativados em AVs não-imersivos são bem parecidos com aqueles que se operam quando as pessoas constroem o conhecimento por interação com objetos e eventos no mundo real. Algumas teorias psicológicas de construção de conhecimento descrevem a natureza da construção de uma teoria de aprendizagem em AVs.

Esta dissertação é o resultado final de um projeto de pesquisa acerca de AVs não-imersivos, possuindo dois objetivos:

- a) elaborar um modelo conceitual para um AV não-imersivo para uso na educação;
- b) estudar as possibilidades do uso de sistemas de AVs no processo de ensino-aprendizagem de matemática.

Com o primeiro objetivo, visava-se desenvolver um modelo conceitual de ambientes de aprendizagem tanto para o ensino-aprendizagem de matemática (em especial, o conteúdo de geometria) como para o desenvolvimento dos aspectos cognitivos (com base nas teorias do construtivismo), bem como implementar o modelo proposto.

Para estruturar a proposta, levou-se em conta o conteúdo de geometria (*geo* = terra + *metria* = medida), por causa, exatamente, do seu conceito. A geometria surgiu da necessidade de medir terras e demarcar propriedades, estabelecendo limites entre elas; nela se estudam as figuras, suas propriedades e seus relacionamentos. Ao estudar uma figura através de um AV, enfocam-se sua posição, forma e tamanho, o que desperta grande atrativo, pois permite aos usuários compreenderem a sua estrutura de espaço pela auto-exploração. As figuras geométricas estudadas são: nenhuma dimensão (ponto), uma dimensão (linhas), duas dimensões (figuras planas) e três dimensões (figuras do espaço).

Além disso, a geometria apresenta-se como uma ciência dedutiva, ou seja, partindo de um número de idéias elementares e baseando-se em algumas regras de manipulação matemática e lógica, pode-se construir uma lista de deduções de

complexidade crescente. No uso da geometria, salienta-se não somente o aspecto espacial ou visual, mas a metodologia pela qual a hipótese formulada conduz à conclusão. Por isso, ela foi usada no campo de treinamento para o pensamento lógico-matemático [DAV 85]. O uso dos conteúdos de geometria em AVs resulta numa economia tanto de reflexões como de comunicação de reflexões, pois as imagens geométricas sugeridas levam aos resultados e a estudos adicionais, dotando os envolvidos no processo de um poderoso instrumento de raciocínio indutivo e criativo [EVE 92].

Apesar de a presente proposta de ensino-aprendizagem estar ligada a uma área específica de aplicação (ensino fundamental de matemática), o modelo para o sistema de AV pode servir como suporte para o desenvolvimento de inúmeras outras aplicações em educação, como, por exemplo, naquelas que envolvem estudos entre disciplinas correlacionadas.

O segundo objetivo do trabalho visa analisar estatisticamente a aplicação de um AV modelado em VRML com alunos da 7^a de uma escola particular. Este trabalho pretende ser o início de um amplo diálogo sobre temas relacionados à questão da tecnologia de AVs aplicados à educação, pois a introdução de computadores nas escolas, coloca em evidência a necessidade de se refletir sobre uma série de questões, que vão desde a preparação dos professores até a falta de recursos para a compra de equipamentos.

Discutir, portanto, um tema tão em voga, envolvendo a polêmica relação entre informática e educação, constitui-se num desafio. Nesse sentido, buscou-se desenvolver um ensaio sobre a utilização da tecnologia de AVs não-imersivos no ensino de matemática, possibilitando, quem sabe, a desmistificação dessa disciplina como de aprendizagem difícil, com o que ela poderia passar a denominar-se *Boa Temática*.

No capítulo 2 deste trabalho, apresenta-se uma revisão bibliográfica da aplicação de AVs na educação. Inicialmente, faz-se uma descrição sobre o que há na literatura a respeito do uso do computador em sala de aula, em especial sobre a tecnologia de RV; após, descrevem-se as características de VRML; em seguida, apresentam-se as experiências e as condições necessárias para o uso de AVs no ensino de matemática. No capítulo 3, apresenta-se, primeiramente, o modelo conceitual do protótipo, descrevendo-se, após, a implementação do sistema. No capítulo 4, descrevem-se os experimentos realizados, a metodologia adotada, a amostra e as técnicas estatísticas empregadas. No capítulo 5, expõem-se os resultados das análises estatísticas e, no 6, sintetizam-se as conclusões obtidas, sugerindo-se trabalhos futuros.

2 Realidade virtual na educação

Neste capítulo apresenta-se uma revisão bibliográfica da aplicação de RV na educação, iniciando-se pelas experiências e condições necessárias para o seu uso nessa área. Em seqüência, faz-se uma descrição do que há na literatura a respeito do uso do computador em sala de aula; descrevem-se as características de VRML e a estrutura proposta para o ambiente de aprendizagem de matemática.

2.1 Considerações iniciais

Em educação, é indispensável que o apoio, tanto material como didático e pessoal, seja efetivo e estruturado, proporcionando novos rumos ao ensino e com maior qualidade. Um trabalho executado pelo aluno com o auxílio do computador é enriquecedor pelo fato de oportunizar a construção de conhecimento e a aprendizagem contínua, despertando seu interesse e pensamento crítico.

O computador, como instrumento auxiliar das atividades discentes, possibilita o resgate de dados considerados importantes, “remodelando” os registros de uma forma mais acessível e prática. Por isso, e por tantas transformações na própria educação, as tecnologias que vêm sendo desenvolvidas estão satisfazendo às expectativas, proporcionando melhores resultados. A tecnologia de RV tem um grande potencial para a aplicação na educação pelas seguintes razões: não exige dos estudantes um entendimento sobre dados complexos; a sua forma de apresentação imita os modos pelos quais as pessoas aprendem a interagir com o mundo real; a exigência de aprendizagem de conceitos abstratos para entender dados, como a linguagem escrita ou o jargão de um campo particular de estudo, é drasticamente reduzida.

Na literatura, vários autores defendem o uso do computador como um método positivo de aprendizagem [LÉV 93] [PAP 85] [PAP 94]. Basicamente, esses afirmam que as novas mídias permitem um grande número de formas de aprendizagem, mas, pelo fato de os computadores serem programados, não há nenhuma garantia de que serão benéficos à aprendizagem das pessoas.

Lévy [LÉV 93] utiliza-se da metáfora do hipertexto para tratar o papel das tecnologias informáticas na constituição das culturas e na inteligência de grupos. Usar essa metáfora significa pensar a educação como um hipertexto, no qual os diversos atores estão conectados, tais como o projeto pedagógico, o computador e os alunos. O autor afirma ainda que a integração do computador às tecnologias intelectuais faz surgir novos estilos de conhecimento, constituindo-se num dispositivo através do qual os indivíduos percebem o mundo e se estruturam em suas experiências. Com base nesse pressuposto, Lévy constrói o conceito de “ecologia cognitiva”, pelo qual os indivíduos, as tecnologias intelectuais e as instituições são visualizados como nós de um hipertexto e atuam como verdadeiros sujeitos, e não apenas como meios ou ambientes para o pensamento.

Segundo Tikhomirov, citado por [BIC 99] p.286, há três teorias sobre a forma como os computadores afetam a cognição humana e, conseqüentemente, como podem afetar a educação. A primeira é a *Teoria da Substituição*, na qual o computador é visto como um substituto do ser humano. O argumento básico apresentado para sustentar essa

visão é de que o computador chega aos mesmos resultados do ser humano e, na maioria das vezes, com menos erros, portanto, poderia substituí-lo. Tal teoria trivializa o pensamento ao ignorar os complexos processos humanos pelos quais um problema é eleito para ser resolvido e que a busca de soluções desenvolvida por humanos é fundamentalmente diferente da desenvolvida pelo computador.

A segunda teoria, chamada *Teoria da Suplementação*, sustenta que o computador complementa o ser humano, no sentido de que resolve alguns problemas que são de difícil solução para esse. Há, de acordo com esta visão, apenas uma justaposição entre as novas tecnologia e o ser humano. A teoria da suplementação está baseada na teoria da informação, defendendo que o pensamento pode ser dividido em pequenas partes; assim, processos complexos de pensamento constituem-se de pequenas partes que podem ser agrupadas. Se essa visão de pensamento é adotada, então faz sentido que haja uma justaposição do ser humano ao computador, com o primeiro realizando algumas “partes” do pensamento complexo e o segundo realizando outras. Do somatório de ambas as participações, resulta o todo que era realizado anteriormente apenas pelo ser humano.

As duas teorias apresentadas têm uma visão apenas quantitativa e não qualitativa do pensamento. Defendendo a redução do pensamento a “pequenas caixas”, não consideram que o processo de busca de um problema e de busca de soluções para esse, ou mesmo uma mudança no que possa ser, de fato, um problema, não pode ser decomposto, mas deve ser entendido de forma global.

Por sua vez, a terceira teoria, *Teoria da Reorganização*, defende que a informática exerce papel semelhante àquele desenvolvido pela linguagem na teoria vygotskiniana. Ela sustenta que o computador regula a atividade humana e apresenta diferenças fundamentais em relação à linguagem. O computador pode dar *feedback* a passos intermediários da atividade humana, os quais seriam impossíveis de serem dados por observadores externos.

Segundo Lee, citado por [BYR 93] p.2, “as instruções e conteúdos passados aos alunos através do computador, podem levá-los a entrarem em mundos através das imagens no monitor e aprenderem com estas experiências. As informações são apresentada às crianças em um formato interessante. São imagens coloridas e desafiadoras que permitem a sua participação ativa, enquanto refletem sobre os próximos passos de trabalho e se ajustem aos níveis de suas habilidade”.

Prosseguindo, o autor afirma que “os programas de computador oferecem oportunidades do aluno expressar, virtualmente e de uma forma ilimitada, a sua criatividade. Ele analisa uma experiência da vida real podendo produzir uma entidade abstrata que represente esta experiência no computador”.

A Figura 2.1 descreve as teorias de Tikhomirov, indicando a posição que os computadores ocupam em cada uma delas.

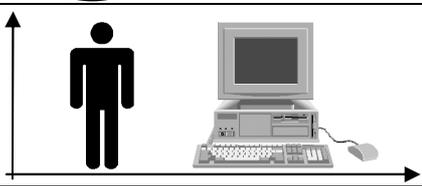
Na Teoria da Substituição, o professor é substituído pelo computador.	
Na Teoria da Suplementação, o computador complementa as tarefas executadas por um professor.	
Na Teoria da Reorganização, o computador é um instrumento sócio-histórico.	

Figura 2.1 - As teorias de Tikhomirov.

Outro grande defensor do uso de computadores no desenvolvimento de aprendizagem é Seymour Papert, que desenvolveu uma linguagem conhecida como Logo, a qual se baseia no conceito de geometria não-formal. Para aprender com a geometria não-formal, é preciso satisfazer três princípios [PAP 85], descritos na Figura 2.2.

Princípios	Descrição
De continuidade	“A matemática deve ter relação de continuidade com o conhecimento pessoal estabelecido de cada um, de onde possa herdar um sentido de afeição e valor bem como competência cognitiva.”
De poder	“Tem que motivar o estudante para executar tarefas significativas e que não podem ser efetuadas sem o uso do computador.”
De ressonância cultural	“O tópico de estudo deve fazer sentido em termos de um contexto social mais amplo.”

Figura 2.2 - Os princípios de Papert.

Levando em conta essas afirmações sobre como aprender com o uso de computadores, a aplicação da tecnologia de RV, em particular, torna-se uma estratégia bastante significativa para aumentar a aprendizagem. A RV oferece tudo que outros programas gráficos oferecem, porém com mais motivação para o usuário.

Os mundos em RV, bem-construídos, desempenham o papel de descobrir, por meio dos diferentes estilos de aprendizagem, quais são as sensações que o estudante possui e quais são as que mais o atraem. Se é utilizado um método pelo qual os estudantes criam os seus próprios mundos, a terceira teoria de Tikhomirov se confirma e os pontos que Lévy, Lee e Papert descrevem podem ser alcançados.

2.2 Experiências de mundo

Segundo Polanyi, citado por [WIN 93] p.4, as pessoas conhecem o mundo de duas maneiras: a primeira é através do resultado de suas interações cotidianas, conhecimento esse que é freqüentemente direto, pessoal, subjetivo e tácito; a segunda é através da descrição que outra pessoa faz do mundo, conhecimento dito delegado, comunal, objetivo e explícito, ou seja, é o tipo de conhecimento ensinado por alguém. As experiências que conduzem ao primeiro tipo de conhecimento são denominadas de “primeira-pessoa” e as do segundo tipo, de “terceira-pessoa”, segundo Clancey e Searle citados por [WIN 93] p.4.

As experiências e ações que surgem do conhecimento de primeira-pessoa são normalmente caracterizadas por ausência de reflexão, o que significa que a ação flui diretamente para fora da percepção do mundo, sem a intervenção do pensamento consciente. A maior parte daquilo que as pessoas realizam em suas vidas diárias é alcançado deliberadamente, isto é, sem um pensamento reflexivo. Experiências de primeira-pessoa são, então, naturais, não-refletidas, privadas e predominam nas interações cotidianas da pessoa com o mundo. Nessa visão, interagir com um computador por uma interface é uma experiência de terceira-pessoa. Por exemplo, embora seja possível dominar o teclado ou o *mouse* num nível de habilidade em que as pessoas já os usam automaticamente, a informação que a máquina apresenta sempre requer delas reflexão antes das respostas, ou seja, elas experimentam o computador como um *objeto* no mundo.

Segundo Norman, citado por [WIN 93] p.5, essa é a razão pela qual os programadores estão freqüentemente preocupados, primeiramente, com o modelo mental das pessoas em relação à interface do sistema projetado e, em segundo lugar, com a funcionalidade do programa. A interface de RV permite remover o limite que há entre as pessoas e a máquina, segundo William Bricken, citado por [WIN 93] p.5. Acontecendo isso, as experiências delas no mundo virtual têm exatamente as mesmas qualidades que as suas experiências no mundo real; o conhecimento que elas geram é direto, pessoal, subjetivo e tácito, em outras palavras, de primeira-pessoa. A RV permite desenvolver, a partir das experiências das pessoas, um tipo de conhecimento que tem sido acessível somente por experiência direta do mundo, nunca por interfaces de computador.

A distinção entre a experiência de primeira-pessoa e a de terceira-pessoa está no fato de a primeira ser simbólica e a segunda, normalmente, não. De qualquer modo, o computador tem seu próprio sistema de símbolos, sem o qual não se pode obter nenhuma informação, segundo Salomon, citado por [WIN 93] p.5. Lêem-se textos e ícones pictóricos na tela; mostram-se dados como quadros e gráficos; ouve-se algo sobre como está o estado do sistema ou como dirigir-se ao próximo passo da interação, todos esses símbolos são convencionais e têm de ser aprendidos em algum momento. Se o domínio de um sistema de símbolos é necessário, não é, entretanto, condição suficiente para aprender em experiências de terceira-pessoa.

Segundo William Bricken, a RV permite que os estudantes interajam com o mundo usando o que chama de “semântica natural do mundo”. Por exemplo, é perfeitamente possível que os estudantes aprendam os conceitos de álgebra sem aprenderem os seus símbolos convencionais, contanto que a experiência de

aprendizagem seja direta, pessoal e implícita. Para William Bricken, a RV é um sistema que pode ser utilizado pelo estudante como um mecanismo de cognição [WIN 92].

De acordo com Meredith Bricken, citado por [WIN 92] p.12, a capacidade de programação dos AVs possibilita aos pedagogos desenvolverem estratégias pedagógicas para o comportamento de cada objeto no mundo virtual. Usando um sistema de RV, os axiomas de álgebra poderiam ser construídos através do comportamento dos objetos que os representam no AV.

2.3 AVs não-imersivos

Segundo Heim, citado por [WIN 96] p.4, AVs não-imersivos são, essencialmente, iguais aos usados diariamente em qualquer sistema de computação, ou seja, a informação é exibida no monitor e, para manipulá-la, o usuário usa alguns dispositivos, como teclado, *mouse*, *joystick* ou tela sensível ao toque. Em uma situação típica, o usuário usa óculos para sincronizar as imagens exibidas pelo monitor, o que permite que surjam imagens estereoscópicas da tela plana.

A maioria dos computadores de hoje têm condições de exibir imagens que adotam tecnologia Motion Picture Experts Group (MPEG)² [HAR 96], ou de QuickTime [QUI 2000]. É possível produzir, com esses tipos de imagens (bidimensionais), AVs tridimensionais com vários graus de controle para o usuário, combinando-as com os dispositivos descritos no parágrafo anterior [WIN 96].

A experiência de visualizar imagens tridimensionais está agora disponível na World Wide Web (WWW). Arquivos implementados com a linguagem VRML podem ser visualizados utilizando um *browser* VRML, a qual é usada para descrever ambientes tridimensionais, assim como a linguagem HyperText Markup Language (HTML) é usada para descrever páginas hipermídia.

2.3.1 A linguagem VRML

A história da linguagem VRML inicia-se muito antes da apresentação da proposta de sua primeira especificação, em 1994. A partir da década de 1980, com a explosão da internet norte-americana, um novo objetivo passou a direcionar os trabalhos em computação gráfica: o desenvolvimento não apenas de um ambiente simulado visualmente convincente, mas de um *cyberspace*, uma verdadeira experiência virtual interativa entre usuários de uma rede.

A primeira grande revolução nessa busca foi a criação da WWW. Embora fosse, essencialmente, uma interface gráfica para a internet e envolvesse apenas gráficos 2D, a *web* foi o primeiro passo na direção da criação de VRML.

A criação da *web* foi mais um dos esforços da comunidade de computação visando melhorar a interface entre os usuários e as tarefas executadas pelos computadores. Com a introdução dos Universal Resource Locators (URLs), a

² MPEG é o formato-padrão para vídeo proposto pela International Standards Organization (ISO). Os *browsers* VRML suportam o formato MPEG.

localização de um arquivo na *web* passou a assemelhar-se à forma como se localiza em um disco rígido. Nem sempre os endereços são tão reveladores, e isso levou a uma constatação básica: se a informação não é representada sensorialmente, de maneira semelhante ao que estamos acostumados no mundo real, ela não faz muito sentido, tornando-se difícil fazer associações.

A partir dessa constatação, tecnologias variadas, que vieram a ser coletivamente conhecidas como RV, deram início a uma mudança radical na natureza das “interfaces com o usuário”, tornando-o o centro do processo de *design*. A idéia era imergi-lo inteiramente em um espaço tridimensional interativo que representasse o ambiente computacional e no qual as informações pudessem ser absorvidas através de todos os sentidos [GRU 97].

Decorrente de pesquisas nessa área, o segundo passo foi a introdução do InventorTM [OPE 97], da Silicon Graphics, Inc. Os conceitos-chaves no Inventor eram a estrutura da cena e a descrição de objetos, o que permitia aos programadores gráficos desenvolverem aplicações 3D interativas de maneira rápida e eficiente, duas qualidades imprescindíveis em aplicações internet.

Foi, entretanto, o terceiro acontecimento que realmente impulsionou a criação da primeira especificação de VRML: na primeira conferência sobre WWW, foram apresentadas as estruturas de uma interface de RV para a *web*. Após a realização dessa conferência, o grupo que havia participado da discussão iniciou o desenvolvimento de uma linguagem que combinasse descrição de cenas tridimensionais com os *hyperlinks* WWW, algo análogo a HTML, mas, agora, para RV [AME 97] [HAR 96] [MAR 97] [VAC 98] [W3C 97].

Com a primeira especificação da linguagem estruturada, iniciaram-se os trabalhos para o desenvolvimento de interpretadores para o novo formato de arquivo. O primeiro deles foi o QvLib, cujo código foi distribuído como *software* de domínio público; depois, o programa foi portado para várias plataformas, de forma que as empresas puderam iniciar a construção de seus primeiros *browsers* VRML.

Um dos primeiros *browsers* completos a ser lançado foi o WebSpaceTM Navigator da Silicon Graphics. A empresa Template Graphics Software, Inc., implementou esse *browser* para outras plataformas, disponibilizando, sem custo, na internet todas as suas versões.

A primeira ferramenta de desenvolvimento não poderia fugir à regra. Mais uma vez, a Silicon Graphics era pioneira na tecnologia em gráficos ao lançar o WebSpace Author, em abril de 1995. Nessa mesma época, o VRML Architecture Group (VAG) reunia-se para discutir a especificação seguinte de VRML, que deveria conter diversos melhoramentos em relação à primeira versão e “preparar terreno” para revisões futuras.

Em uma reunião na cidade de Kyoto, o comitê da ISO JTC1/SC24 concordou em publicar a versão de VRML 2.0, em agosto 1996, como Committee Draft (CD). Em abril de 1997, o texto Draft International Standard (DIS) - essa especificação de VRML é conhecida como “VRML97” - foi submetido à votação pelo comitê; após, foi remetido para publicação como um padrão da ISO, tendo sido eletronicamente publicado como um documento HTML. Era a primeira vez que um padrão da ISO era publicado dessa

maneira [CAR 97a]. Em 20 de dezembro de 1997, VRML97 tornou-se um padrão internacional, intitulado ISO/IEC 14772-1:1997 [HAN 99] [VRM 97a].

2.3.2 *Browsers VRML*

Para visualizar um mundo VRML, usa-se um *browser* VRML tipicamente configurado como um *plug-in* para um *browser* HTML. Os *browsers* HTML Netscape[®] Communicator da Netscape Communications Corporation [NET 2000] e o Microsoft[®] Internet Explorer da Microsoft Corporation [MIC 2000] suportam *browsers* VRML.

Um arquivo VRML recebido pelo *browser* HTML é exibido automaticamente pelo *browser* VRML. Entretanto, um problema que os usuários têm encontrado é a incompatibilidade entre os *browsers* que usam e os mundos 3D que visitam. Alguns *browsers* podem exibir somente mundos construídos com as ferramentas de desenvolvimento de mundos VRML da própria empresa que os desenvolveu; outros exibem uma ordem de mundos, mas são limitados no número de características avançadas que podem interpretar.

O avanço do próprio padrão VRML e a aderência a este padrão através das companhias de *softwares* são essenciais para que a tecnologia de VRML possa ser amplamente usada.

Na Figura 2.3, apresenta-se um exemplo de um arquivo VRML exibido em uma janela do Netscape Communicator através do *browser* VRML CosmoPlayer 2.1 da Silicon Graphics [SGI 97] [COS 2000].

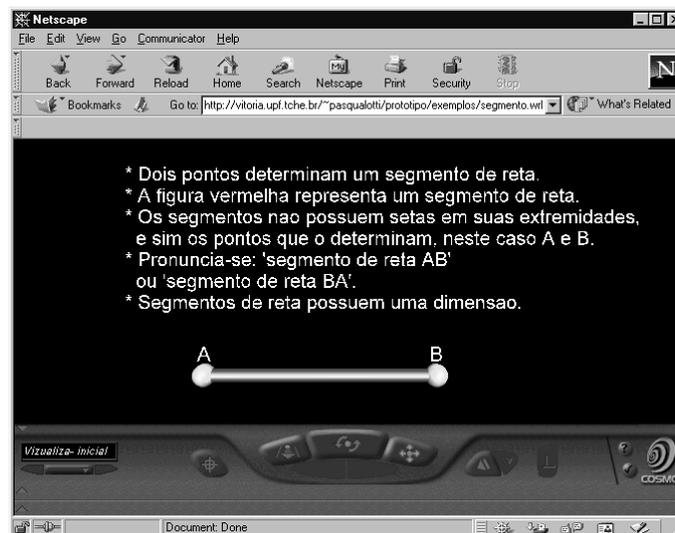


Figura 2.3 - Arquivo VRML exibido no *browser* VRML CosmoPlayer 2.1.

As extensões para arquivos VRML são `.wrl` e `.wrz`. O tipo Mime padrão para arquivos VRML é definido como `model/vrml`, onde o tipo Mime principal é `model` (para visualização de arquivos 3D) e o tipo secundário é `vrml` (refere-se aos documentos VRML). Por razões históricas (VRML 1.0), o tipo Mime

x-world/x-vrml também é suportado pelos *browsers* VRML, no qual o tipo Mime principal é x-world e o tipo secundário é x-vrml [MOD 2000] [CAR 97a].

A Tabela 2.1 apresenta as extensões e os tipos Mime suportados pelo *browser plug-in* CosmoPlayer 2.1.

Tabela 2.1 - Descrição das extensões e do tipo Mime para arquivos VRML.

Tipo Mime	Extensão
model/vrml	wrl, wrz
x-world/x-vrml	wrl, wrz

Fonte: Netscape. About Plug-ins.

Os *browsers* VRML, como os de HTML, são *softwares* desenvolvidos para vários tipos de plataformas, como PC, Macintosh ou *workstation* Unix®. Muitas empresas estão continuamente desenvolvendo extensões para os *browsers* HTML que suportam os arquivos VRML; outras também estão desenvolvendo ferramentas que permitam desenvolver mundos VRML para serem incorporados aos *sites*. Tecnicamente, hoje as principais vantagens de VRML são a sua independência e a sua flexibilidade.

2.3.3 Futuro da especificação de VRML

Um formato de arquivo binário para VRML tem sido buscado desde o início do lançamento da especificação de VRML. Atualmente, usam-se ferramentas de compressão de arquivo como *gzip* para comprimir arquivos de VRML, o que proporciona, em média, uma relação de compressão de 5:1 e não requer nenhuma implementação extra do *browser* VRML. Porém, um formato binário para VRML poderia produzir relações de compressão ainda mais altas (por exemplo, 10:1 a 50:1). Por isso, em setembro de 1996, o VAG emitiu um pedido à comunidade de VRML requisitando a formulação de propostas para a especificação de um formato binário para os arquivos VRML. A única proposta apresentada foi a das empresas IBM®, Apple Computer, Inc. e ParaGraph International, Inc., tendo sido adotada como a especificação para o formato de arquivo binário de VRML [COM 98]. Entretanto, essa especificação ainda continua sendo revisada e, possivelmente, tornar-se-á um anexo à especificação de VRML.

O segundo assunto é a External Authoring Interface (EAI). Muitos programadores de mundos VRML reclamam que não há uma definição no padrão para a programação de interface para os *browsers* VRML, com o que seria possível implementar programas externos que se comunicassem com o *browser* VRML. O VAG, em outubro de 1996, emitiu um pedido à comunidade de VRML requisitando a formulação de propostas para a especificação de uma EAI; tendo sido recebidas duas, a proposta de Chris Marrin, da Silicon Graphics, venceu e foi selecionada, porém essa especificação continua sendo revisada.

Outro assunto que tem sido discutido é a capacidade de VRML para multiusuário, havendo, no momento, vários grupos que trabalham em pesquisa relacionada à proposta, como a Open Community™ [ENV 97] e a Universal Avatars

(Chaco Communications, Inc.) [CHA 96]. Na conferência da SIGGRAPH99, que ocorreu em Los Angeles, as empresas Shout Interactive, Inc. e Blaxxun Interactive, Inc. apresentaram ambientes em 3D implementados como *applets* Java, as quais eram executadas diretamente nos *browsers* HTML, como elementos sem conexão com a página. Essas tecnologias estão competindo para se tornar o substituto para a nova versão de VRML. Outra tendência para a padronização seria a utilização do padrão Extensible 3D (X3D), entretanto o próprio consórcio Web 3D Consortium (W3C) está indeciso entre adotar ou não esse padrão. [3DA 99] [X3D 99].

A aceitação de VRML depende de muitos fatores. Certamente, um compromisso por parte das companhias de *softwares* para que desenvolvam ferramentas e *browsers* é um dos pontos críticos, o que foi demonstrado com a torrente de produtos lançados nos meses seguintes à publicação da especificação.

2.3.4 Problemas com VRML

VRML permite a integração de dados 3D em um ambiente de multimídia. Além disso, a linguagem tem forças que complementam outros elementos de multimídia, enquanto esses podem prover detalhes e sistema para informação que são difíceis de implementar em 3D. Entretanto, a situação não é totalmente ideal. Há *browsers* VRML para a maioria das plataformas, todavia alguns deles não são consistentes com a especificação final de VRML 2.0, e nem mesmo entre si. Em seqüência relacionam-se alguns dos problemas que são encontrados com o uso de *browsers* VRML:

- c) não há ainda nenhuma forma para adquirir padrões de cores em um mundo de VRML; diferentes *browsers* VRML exibem o mesmo objeto em cores e tonalidades diferentes;
- d) a construção de um mundo VRML que tem uma complexa interação dos usuários requer inclusão de códigos no arquivo VRML, porém a especificação de VRML não declara a linguagem que deve ser usada. *Browsers* atualmente suportam JavaTM (Sun Microsystems), JavaScript, VRMLScript e outras linguagens. Mundos escritos com uma determinada linguagem só serão exibidos em *browsers* que suportam tal linguagem;
- e) a linguagem VRML é muito poderosa, mas as necessidades de espera são muito grandes. O problema não é a exibição dos dados, mas sua aquisição de forma que eles possam ser apresentados no espaço virtual descrito por VRML. Neste momento, trabalhar somente com VRML é insuficiente; há necessidade de usar as habilidades das outras linguagens que se comunicam com VRML e que possam trocar os dados entre si [HAN 99];
- f) a maioria do *browsers* VRML deixa para o usuário interagir com o mundo que carrega, o que suaviza algumas das demoras inerentes ao carregar um ambiente muito grande na rede. A situação também requer que o programador do mundo projete a interação do usuário de forma cuidadosa para que o sistema não *trave* se foi apenas parcialmente carregado;
- g) as empresas que desenvolvem ambientes para mundos VRML têm desenvolvido um número crescente de ferramentas para criar modelos e mundos interativos em VRML, contudo essas variam em compatibilidade com a especificação final VRML

2.0. Características adicionais importantes, como redução de polígono e suporte para *nodos* de VRML, estão disponíveis apenas em algumas ferramentas [SAN 96].

A Figura 2.4 apresenta exemplo de problema que ocorre quando se utiliza um *browser* diferente daquele para o qual o ambiente foi implementado.

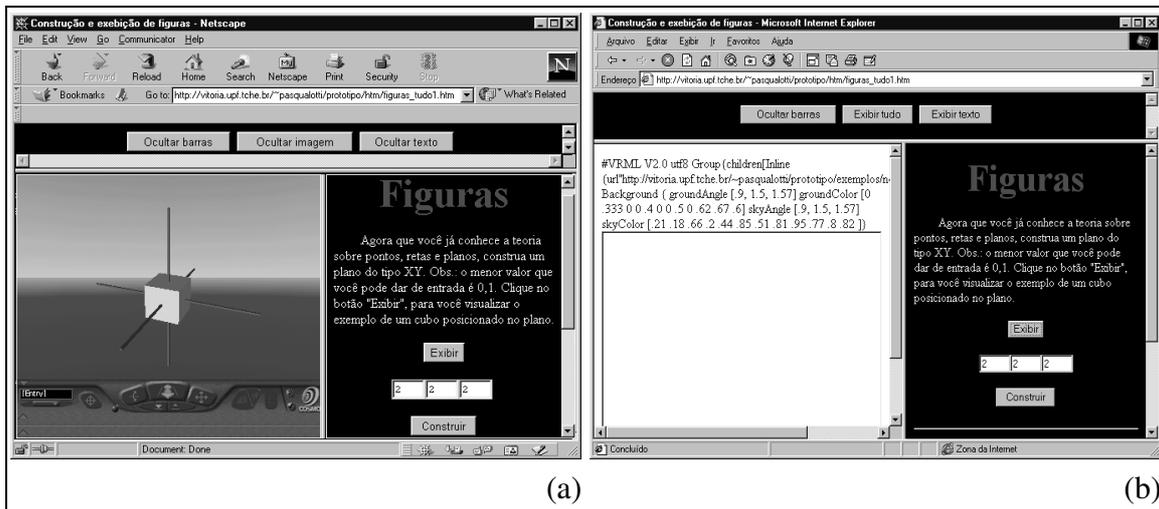


Figura 2.4 - Exemplo de problema ao utilizar um *browser* incompatível.

O programador e projetista do *site* não levou em conta os diferentes *browsers* que os usuários poderiam usar. Neste caso, os *browsers* utilizados foram o Netscape Communicator 4.5 (a) e o Microsoft Internet Explorer 5.0 (b). No *browser* da Microsoft, o *frame* que deveria exibir o objeto modelado em VRML não foi exibido, aparecendo em seu lugar o código fonte do arquivo VRML.

O maior problema com VRML é sua *novidade*; *browsers* e *toolkit* não suportam completamente a especificação final. Os problemas serão solucionados quando as empresas desenvolverem os seus produtos utilizando a especificação.

2.3.5 Padrões de interfaces

O diagrama exibido na Figura 2.5 é um *browser* teórico de VRML 2.0 com pontos de conectividade para vários padrões de interfaces: as interfaces EAI e Script Authoring Interface (SAI) são usadas pelos programadores dos mundos VRML ou pelas interfaces para esses mundos (como *applet* Java em uma página de HTML); já as interfaces do tipo Programmer's Interface são intencionalmente usadas pelos programadores para atender à funcionalidade dos *browsers* VRML.

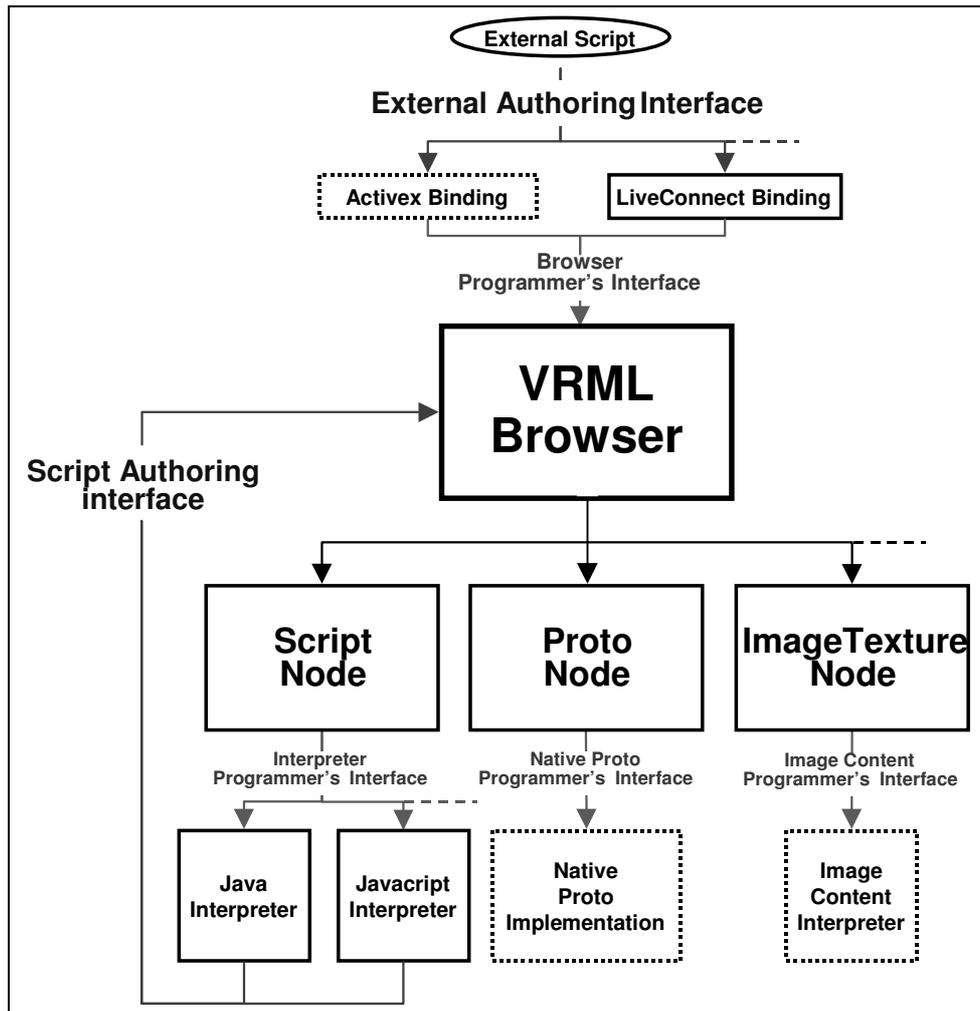


Figura 2.5 - *Browser VRML* com conexão para vários padrões de interfaces.

As Authoring Interfaces podem ser de dois tipos: SAI é a interface entre o *script* contido no *nodo Script* e a funcionalidade de *browser*, aparecendo na especificação VRML 2.0 nos anexos Java e JavaScript; EAI é a interface entre o *browser VRML* e um mecanismo externo como a Interface LiveConnect do Netscape, ou a interface ActiveX do Microsoft Explorer.

As Programmer's Interfaces são de quatro tipos: a Browser Programmer's Interface é a interface entre o *browser VRML* e o mundo externo, a qual pode ser simplesmente uma conexão a External Authoring Interface se o *browser* estiver rodando sozinho; a Interpreter Programmer's Interface permite criar um interpretador de linguagem para ser usado no *nodo Script*, assim, para que o *browser* possa interpretar a linguagem os programadores podem utilizar-se de um componente Dynamic Link Library (DLL); a Native Proto Programmer's Interface permite aos programadores criarem um componente DLL que provê uma implementação nativa do *nodo* de PROTO em VRML 2.0, o que proveria uma extensão para VRML 2.0 a qual rodaria mais rapidamente, ou proveria maior funcionalidade que um PROTO escrito completamente com um *script* interpretado; a Image Content Programmer's Interface é um exemplo de uma interface para a funcionalidade interna de um determinado *nodo*. Nesse caso, o interpretador transformaria os dados do URL do *nodo ImageTexture* em uma imagem, o que permitiria interpretar qualquer formato de imagem [MAR 96].

2.4 Tecnologias educacionais

As tecnologias computacionais aplicáveis à educação são normalmente enquadradas em quatro categorias, apresentadas abaixo com os respectivos exemplos:

- a) *tutorial*: ensinam através do provimento de informação, demonstrações e simulações em seqüências predefinidas pelo sistema, cujos exemplos mais comuns são: sistemas multimídia em CD-ROM e os de Computer Assisted Instruction (CAI);
- b) *exploratório*: facilitam a aprendizagem ao fornecerem informações, demonstrações ou simulações quando requeridas pelo estudante. Exemplos relevantes são: *web*, enciclopédias multimídia em CD-ROM, simuladores de micromundos (SimCity[®], SimEarth, etc.);
- c) *aplicativos*: usados para edição de texto e figuras, e análise de dados. Os exemplos mais comuns são: processadores de texto, planilhas, gerenciadores de bancos de dados e sistemas de gravação/edição de vídeo;
- d) *comunicação*: conjuntos de *software* e *hardware* usados para intercomunicação em redes locais, acesso à internet e seus serviços, correio eletrônico, *chats*, etc. [FER 98].

Uma quinta categoria que se pode destacar é a das tecnologias de foco construtivista, que são bastante promissoras, pois fornecem suporte à construção espontânea de artefatos em comunidades digitais através do uso de AVs compartilhados e construção coordenada em equipes, possível pelo desenvolvimento de *sites*, sendo mais direcionadas à síntese e ao compartilhamento de trabalho em equipes coordenadas [ARA 98] [FER 98].

Para avaliar a aplicação da tecnologia de RV como uma ferramenta de aprendizagem, vários estudos estão sendo realizados em centros de pesquisa, dos quais se apresentam aqui alguns, com suas respectivas conclusões principais. Para muitos desses a discussão sobre a aplicação de tecnologias de foco construtivista, como é a RV, em educação é semelhante ao debate de vinte anos atrás sobre usar PCs nas escolas.

Para Pantelidis [SHU 99], co-diretora do Virtual Reality and Education Laboratory da East Carolina University em Greenville, North Carolina, e editora da *VR in the Schools*, um periódico *on-line*, “a RV está vindo à educação comparada à forma como os computadores fizeram”. A pesquisadora descreve algumas situações em que a RV pode ser muito útil na sala de aula. Primeiro, a RV deveria ser usada para ensinar assuntos nos quais a forma tradicional pode ser perigosa (estudar a estrutura de uma tempestade), prejudicial ao ambiente (simular um desastre químico em um rio) ou cara (um mergulho subaquático); segundo, as aplicações de RV fazem sentido por permitirem que os estudantes aprendam em ambientes que não podem ser experimentados. Em caso contrário, como visitar Marte, viajar dentro do corpo humano, ou mover-se entre as moléculas de um composto químico? Pantelidis afirma, por fim, que os projetistas devem focar as aplicações de RV para a visualização de um conjunto de informações ou conceitos para que eles possam ser mais facilmente compreendidos. “A RV não é a resposta a todos nossos problemas de educação. E nós ainda temos que alcançar a massa crítica necessária para permitir que a maioria dos professores veja a RV como uma possível opção para a sala de aula”.

Youngblut, pesquisadora do Institute for Defense Analyses em Arlington, Virginia, revisou mais de sessenta projetos que estudavam a aplicação de RV na educação, explicando que muitas experiências estão baseadas em sistemas de RV para PC. A autora diz que “vários destes sistemas possibilitam excelentes benefícios com pequeno ou nenhum custo adicional”.

Das pesquisas que estão sendo realizadas em ambientes imersivos, destacam-se dois estudos desenvolvidos no Human Interface Technology Laboratory (HITL), da University of Washington, em colaboração com o Pacific Science Center. Tais estudos foram realizados com estudantes entre 10 e 15 anos, com o propósito primeiro de verificar se eles poderiam trabalhar de uma maneira criativa com a tecnologia de RV e se desfrutariam essa tecnologia [BYR 92].

O segundo estudo consistia em estender o conhecimento que as crianças tinham sobre RV, realizando-se duas atividades: a primeira foi a aplicação da RV no currículo escolar; a segunda, a diversificação da população de estudantes que usavam a RV. A atividade de tentar explorar a RV em um currículo escolar relaciona-se com o seu uso na educação e nas teorias de aprendizagem. De acordo com os autores da pesquisa, o ilimitado processo criativo que envolveu as construções de mundos em RV foi uma experiência de aprendizagem como formação cultural e de conhecimento muito apreciada pelos estudantes [BYR 93].

Desde que o computador foi introduzido em sala de aula, o interesse das pessoas em buscar uma participação ativa no mundo da informática está crescendo rapidamente. Hoje, a difusão maciça de computadores vem promovendo um acelerado processo de adesão à área da informática por parte de importantes segmentos da sociedade.

Também a escola, uma vez imersa em um cenário de grandes transformações configurado a partir dos sucessos obtidos com a introdução do micro em outras áreas, apressa-se em abraçar esse novo aliado, seja como instrumento auxiliar para a comunicação didática, seja como agente gerador de novos conhecimentos e metodologias, seja como elemento de apoio às atividades docentes. A forma como vem se processando a inserção do computador nas atividades cotidianas induz a pensar que a frase “o futuro está na informática” não representa apenas um simples *slogan* publicitário, mas a constatação objetiva de uma realidade em contínua evolução. A informática conseguiu ultrapassar os limites dos sofisticados laboratórios de pesquisa e passou a conquistar novas e diversificadas áreas de aplicação, entre elas a do ensino.

Com efeito, graças ao acelerado desenvolvimento da pesquisa de *software*, os serviços e as vantagens que a informática pode oferecer à educação não apenas são indiscutíveis como vão muito além do que uma visão mais otimista possa imaginar. Diante de tantas possibilidades de respostas que o computador pode oferecer, o drama que aflige grande parte dos novos usuários é saber que tipo de questões lhe podem endereçar e através de quais procedimentos é possível equacioná-las. Na verdade, quando se discute a introdução de computadores na educação, frequentemente, emergem questões sobre qual seria a real utilidade de tais recursos em atividades didático-pedagógicas.

Cada resposta unívoca a esse propósito parece não ter como base qualquer teoria uma vez que as aplicações deste tipo de instrumento no campo educativo são diversas: dependem, entre outras coisas, do contexto no qual se operam, da capacidade criativa do

professor, do *software* disponível e, sobretudo, dos objetivos que se desejam alcançar. Mesmo porque, como recurso instrumental, as experiências didáticas demonstram que o computador pode ser introduzido em praticamente todas as áreas do currículo escolar e em qualquer momento do processo ensino-aprendizagem, desde que adequadamente programado. Em outras palavras, embora o emprego do computador, na prática, seja observado predominantemente em atividades voltadas à área científico-tecnológica, isso não significa que a informática deva ser objeto exclusivo de disciplinas para especialistas.

A descoberta das potencialidades do computador no campo didático-pedagógico deve ser sempre considerada em relação à sua aplicação a um campo específico de atividade. À primeira vista, as vantagens e limitações originárias da utilização do computador em educação estão vinculadas apenas à forma como ele é utilizado. Verificar em que é possível utilizar o computador e como usá-lo, elaborar programas buscando soluções, criar jogos didáticos, divertir-se em atividades criativas, explorar a composição da máquina ou utilizar o computador para fins diversos certamente não são indicadores de falta de criatividade.

Mesmo com muitos limites, aprender ou simplesmente trabalhar com computador pode ser uma experiência muito agradável, tanto para professores quanto para alunos, em virtude dos serviços que ele oferece: tornar viável a execução de uma certa rotina humanamente impossível de ser realizada, ou, simplesmente, tornar interessante um argumento e permitir o seu desenvolvimento em um intervalo de tempo bastante reduzido (algo dificilmente realizável através de meios tradicionais). Entretanto, a presença de computadores em escolas com pouca tradição tecnológica, sem uma prévia reflexão sobre *como, por que e para que* utilizá-lo, pode gerar também sérios danos ao ensino na medida em que venha acompanhada de fortes distorções, que vão desde a supervalorização do instrumento até o seu total abandono [BRA 96].

2.5 Aplicação de tecnologias na educação matemática

Os principais fatores que justificam o porquê de se aplicar a tecnologia de RV na educação matemática, essencialmente os AVs não-imersivos, são três:

- a) problemas nas escolas tradicionais com a educação matemática;
- b) necessidades econômicas e sociais;
- c) conveniência biológica e psicológica.

Os problemas das escolas de hoje estão bem documentados, segundo Scans e Sizer, citados por [MOS 95] p.2. Porém, parece ingênuo, em face de experiência, esperar que a tecnologia possa resolver qualquer tipo de problema social ou educacional, segundo Newmann e Holden, citados por [MOS 95] p.2. Em particular, é muito cedo para afirmar que uma tecnologia tão imatura quanto a RV oferece solução para a reestruturação das escolas. Segundo Lemke, citado por [MOS 95] p.2, “as novas mídias são potencialmente importantes para a educação e que a sua natureza contribuirá muito à aprendizagem”. O autor continua dizendo que as escolas são, basicamente, lugares onde as pessoas lêem livros-textos e são ensinadas a fazer “algo”, ou seja, nenhuma atividade desenvolvida é muito pertinente à vida dos alunos.

De acordo com Holden, há dois pontos de vista contrastantes relativos à aproximação básica que deveria ser levada em conta para organizar a educação com ajuda da tecnologia. A teoria do construtivismo concebe que os estudantes deveriam ser conduzidos a descobrir os princípios básicos das “coisas”, construindo o seu conhecimento; assim, os construtivistas acreditam que é preciso uma mudança na educação fundamental. Já os estruturadores buscam uma compreensão detalhada das habilidades exigidas pelos componentes para dominar algum conceito, como, por exemplo, os da álgebra. Esta teoria defende uma reforma gradual em vez da revolução nas escolas, que o construtivismo prega.

Por causa das diferenças nas teorias de educação, para o uso correto da tecnologia de AVs, é preciso levar em conta um princípio básico: a tecnologia efetiva tem de co-evoluir com as mudanças estruturais em educação e tem de oferecer um apoio para as mudanças graduais que poderão acontecer.

O segundo fator motivador à aplicação de AVs não-imersivos na educação matemática enfoca as ações que os estudantes executarão em suas atividades profissionais no futuro. É preciso, por isso, conhecer as habilidades básicas e os conceitos necessários para o desenvolvimento dessas ações.

O terceiro fator refere-se aos diferentes tipos de aprendizagens, que são aumentadas pelas formas de apresentação multissensorial e pelas novas modalidades de experiências interativas. Para modelar os mundos 3D, é preciso levar em conta as teorias fundamentais de aprendizagem e mentalização, cujos componentes cognitivos são descritos em várias classificações. Gagné, citado por [MOS 95] p.4, descreve cinco tipos de capacidades:

- a) *habilidades intelectuais*: o estudante poderia, hipoteticamente, “ancorar” a aprendizagem em uma situação de habilidade intelectual desejada, dentro de uma história que se assemelha a sua vida real, aumentando o realismo do contexto;
- b) *estratégias cognitivas*: uma simulação provê uma grande e sólida exposição para uma situação particular, permitindo vários graus de emoção e intervenção simbólica;
- c) *informação verbal*: a proficiência, em qualquer domínio, requer muito conhecimento dos fatos específicos, que, de fato, são multissensoriais;
- d) *habilidades motoras*: a realimentação poderá ser suficientemente realista para alcançar as transferências esperadas de treinamento;
- e) *atitudes*: jogos de simulação construídos pelos estudantes poderão servir como contextos para as experiências de atitude, através da construção da interação nos lances dos jogos.

Outros fatores, não menos importantes, sobre o uso de RV na educação referem-se à possibilidade que o aluno tem de construir o conhecimento sobre um conteúdo específico, como também de desenvolver os aspectos cognitivos pela interação de AVs implementados com essa tecnologia.

No passado, pedagogos esforçaram-se para buscar uma tecnologia que pudesse fazer, em sala de aula, a mesma coisa que os professores faziam. A suposição era de que

uma instrução predeterminada poderia usar as mesmas estratégias adotadas pelos professores, com resultados semelhantes ou melhores [WIN 92].

Recentemente, tecnólogos educacionais começaram a explorar alternativas didáticas para os sistemas que ensinam um conteúdo em particular, como os tutores inteligentes. Tais alternativas são os sistemas do tipo “pacotes”, que facilitam certas estratégias pedagógicas sem, entretanto, especificar o conteúdo estudado. Segundo Salomon, citado por [WIN 92] p.12, esses sistemas encarnam a idéia de que as tecnologias empregam sistemas de símbolos que se ocupam de processos cognitivos de uma forma sem igual.

Os sistemas do tipo pacotes estão baseados na premissa de que os estudantes constroem o seu próprio conhecimento interagindo com os objetos ao invés de serem ensinados sobre algo explicitamente. Isso permite que eles aprendam a resolver problemas complexos de matemática pela exploração de domínios, interagindo nos AVs através de alguma aventura que é proposta a eles.

Ao contrário do mundo real, um mundo virtual é programado para se comportar de uma maneira específica; por exemplo, objetos no mundo de geometria obedecem às leis de geometria, mas não às leis da física newtoniana. Os estudantes construiriam os seus conhecimentos de geometria no mundo virtual através das reações que o mundo virtual estaria programado a ter em resposta às suas ações.

Habilidades no ambiente espacial são componentes importantes no desenvolvimento cognitivo. A RV permite experiências de aprendizagem multiperceptiva no AV. A cognição é um processo complexo que é predicado na interação senso-motor dos indivíduos e dos sistemas neurológicos. A cognição de espaço é um bloco de construção importante na cognição geral, como o processo pelo qual uma criança percebe e se comunica por meio de imagens e objetos.

O processo de cognição de espaço permite a uma criança criar um significado (conhecimento) através da manipulação de dois tipos de imagens: as que estão inseridas no mundo no qual ela existe e as que se originam na sua própria mente. Se uma criança tem dificuldade com esse tipo de cognição, é provável que ela tenha dificuldade no ambiente acadêmico e, possivelmente, também em sua vida diária. Então, é importante entender como a cognição de espaço pode ser habilitada e continuada. Um AV que processe o espaço vivido por uma criança proporciona-lhe um meio de desenvolver as suas habilidades de espaço, contribuindo para resolver os seus problemas de cognição [OSB 97].

Os educadores, há muito tempo, abandonaram a idéia de que a aprendizagem acontece quando os estudantes são “soterrados” pelos conteúdos ensinados pelo professor. Quase todos subscrevem que, para que aconteça a aprendizagem, os estudantes devem participar ativamente do processo. A idéia de que o conhecimento é gerado dentro dos estudantes ao invés de ser absorvido de fora não é nova, mas apenas recentemente as informações sobre essas teorias a respeito da forma como os estudantes constroem o conhecimento tornaram-se mais universais, sendo normalmente classificadas sob o título de *construtivismo* [WIN 97a].

A noção central no construtivismo é a de que a compreensão e a aprendizagem são processos ativos, construtivos, generativos e de auto-reorganização. Por exemplo, as

palavras do professor não são gravadas diretamente na mente dos alunos após passarem pelos seus ouvidos; ao contrário, as palavras agem depois de interpretadas pelo estudante [PAG 99].

As teorias do construtivismo levantam duas suposições que são particularmente pertinentes ao uso da RV na educação matemática. A primeira é de que os alunos constroem o seu próprio entendimento sobre o que estão estudando, o que ocorre ao interagirem com os ambientes de aprendizagem e ao usarem os seus conhecimentos e as suas habilidades para experimentar novas experiências. Em aulas de matemática, essa característica do construtivismo aparece em projetos de pesquisa pelos quais o aluno constrói hipóteses e testa dados.

A segunda característica das teorias do construtivismo na aprendizagem é que a construção do conhecimento é colaborativa. Segundo Vygotsky, citado por [WIN 97a] p.7, o conhecimento é construído socialmente e, quando há discordância sobre algo, acontece uma negociação. Desse modo, um equilíbrio é mantido entre o conhecimento e o significado que o aluno tem da figura em estudo. Em sala de aula, esse aspecto de construtivismo aparece com os projetos de grupo e outras formas de colaboração entre alunos.

Usando a tecnologia da RV, é possível criar e prover ambientes ricos e complexos nos quais os alunos podem construir os seus próprios conhecimentos sobre o conteúdo estudado, da mesma forma que o fazem em outros ambientes. Segundo Dede e McLellan, citados por [WIN 97a] p.8, os AVs são lugares onde os alunos constroem o conhecimento, aprendendo ao interagir e experimentar com objetos virtuais e com os fenômenos que provocam no mundo. Porém, deixá-los simplesmente “soltos” nos AVs, com a tarefa de, sozinhos, entenderem e construírem o conhecimento, provavelmente, não possibilitará sucesso na aprendizagem. Então, algumas estratégias podem ser adotadas para permitir tal sucesso: a direção e a realimentação, que são relativamente fáceis de implementar em uma sala de aula, mas não são tão diretas em AVs.

A questão da direção num AV é particularmente problemática. A estratégia mais fácil consiste em um professor ou estudante assistir as tarefas realizadas por um estudante no AV, fornecendo-lhe a solução das dificuldades que possam aparecer enquanto ele estiver executando uma tarefa. Uma segunda opção é colocar um guia no AV, que pode aparecer como um *avatar* de um segundo participante, o que permite a conversação e a discussão do que acontece entre o estudante e o guia dentro do AV. Com isso, não há a perda de presença, porém aumenta o grau de complexidade e programação.

A pergunta sobre como um AV provê a realimentação para os estudantes está diretamente ligada à noção de “interação”, descrita por Zeltzer, citado por [WIN 97a] p.8. Os AVs que simulam objetos e eventos reais devem responder às ações do estudante da mesma forma que o mundo real iria fazê-lo. Em simulações menos realistas, porém, a provisão de realimentação é menos direta.

A implementação dos AVs para a educação matemática está baseada na teoria do construtivismo. É preciso, então, avaliar diferentes estratégias para dar direção aos estudantes enquanto eles estão nos AVs, proporcionando-lhes a realimentação nas suas ações e permitindo-lhes colaborar com outros no mesmo AV. Aprender sobre matemática em AVs pode não ser igualmente efetivo para todos os estudantes, ou seja,

há dados que sugerem que construir AVs é muito mais efetivo para os estudantes menos capazes do que para os mais capazes [WIN 97b]. Alguns estudantes aprendem melhor quando simplesmente ouvem sobre algo; outros, descobrindo as regras que governam o comportamento dos objetos no AV, e outros, ainda, preferem conduzir a construção do conhecimento no AV, com uma aproximação mais sistemática, aplicando o método científico, que lhes exige a construção, o teste e a verificação de hipóteses. É consensual a idéia de que não existe um caminho que possa ser identificado como único e melhor para o ensino de qualquer disciplina e, em particular, de Matemática. No entanto, o conhecimento de diversas possibilidades de trabalho em sala de aula é fundamental para que o professor construa a sua prática e o “fazer matemática” possa ocorrer.

“Fazer matemática” em sala de aula significa usar o conhecimento teórico de um conteúdo de matemática no mundo real, o que somente é possível se existir uma interação entre o conteúdo estudado em sala de aula e a aplicação em um exemplo concreto. Por exemplo, somente tem sentido passar para o aluno o conteúdo de sistemas de medidas, se ele usar esse conhecimento em sua vida diária. O aluno, provavelmente, entenderá com facilidade o que significa quilômetro (km) ou mililitro (ml), mas, possivelmente, não saberá usar conceitos como hectograma (hg) ou decalitro (dl), pois as duas primeiras medidas são diariamente vividas pelo aluno, ao passo que as duas últimas são pouco usadas e dificilmente aparecem em suas vidas. O que se pretende é fazer com que esses conteúdos “apareçam” e possam ser mais bem entendidos e aplicados.

Algumas condições norteiam o modelo do AV proposto para o ensino-aprendizagem de matemática:

- a) enfoque na resolução de problemas;
- b) utilização da história da matemática;
- c) busca de tecnologias de informação.

As condições propostas estão baseadas nos princípios da teoria do construtivismo, sendo descritas em seqüência.

2.5.1 Enfoque na resolução de problemas

Resolução de problemas é um caminho para o ensino de matemática que vem sendo discutido ao longo dos últimos anos. A história da matemática mostra que ela foi construída como resposta a perguntas provenientes de diferentes origens e contextos, motivadas por problemas de ordem prática (divisão de terras, cálculo de créditos), por problemas vinculados a outras ciências (física, astronomia), bem como por aqueles relacionados a investigações internas à própria matemática.

Tradicionalmente, entretanto, os problemas não têm desempenhado seu verdadeiro papel no ensino, pois, na melhor das hipóteses, são utilizados apenas como forma de aplicação de conhecimentos adquiridos anteriormente pelos alunos. A prática mais freqüente consiste em, primeiro, ensinar um conceito, procedimento ou técnica e, só depois, apresentar um problema para avaliar se os alunos são capazes de aplicar o que lhes foi ensinado. Para a grande maioria dos alunos, resolver um problema significa fazer cálculos com os números do enunciado ou aplicar algo que aprenderam nas aulas.

Desse modo, o que o professor explora na atividade matemática não é mais a atividade, mas seus resultados, definições, técnicas e demonstrações. Conseqüentemente, o saber matemático não se apresenta ao aluno como um sistema de conceitos que lhe permite resolver um conjunto de problemas, mas como um interminável discurso simbólico, abstrato e incompreensível. Nesse caso, a concepção de ensino e aprendizagem subjacente é a de que o aluno aprende por reprodução e imitação.

Ao colocar o foco na resolução de problemas, o que se defende é uma proposta que poderia ser resumida nos seguintes princípios:

- a) o ponto de partida da atividade matemática não é a definição, mas o problema. No processo de ensino-aprendizagem, conceitos, idéias e métodos matemáticos devem ser abordados mediante a exploração de problemas, ou seja, de situações em que os alunos precisem desenvolver algum tipo de estratégia para resolvê-las;
- b) o problema, certamente, não é um exercício em que o aluno aplica, de forma quase mecânica, uma fórmula ou um processo operatório. Só há problema se o aluno for levado a interpretar o enunciado da questão que lhe é proposta e a estruturar a situação que lhe é apresentada;
- c) as aproximações sucessivas ao conceito são construídas para resolver um certo tipo de problema; em outro momento, o aluno utiliza o que aprendeu para resolver outros problemas, o que exige transferências, retificações e rupturas;
- d) o aluno não constrói um conceito em resposta a um problema, mas constrói um campo de conceitos que tomam sentido num campo de problemas. Um conceito matemático constrói-se articulado com outros conceitos, por meio de uma série de retificações e generalizações;
- e) a resolução de problemas não é uma atividade para ser desenvolvida em paralelo ou como aplicação da aprendizagem, mas uma orientação para a aprendizagem, pois proporciona o contexto em que se podem apreender conceitos, procedimentos e atitudes matemáticas.

Considerados esses princípios, algumas características das situações que podem ser entendidas como problemas devem ser descritas:

- a) um problema matemático é uma situação que demanda a realização de uma seqüência de ações ou operações para se obter um resultado, ou seja, a solução não está disponível de início, mas é possível construí-la;
- b) em muitos casos, os problemas usualmente apresentados aos alunos não se constituem em verdadeiros problemas porque, via de regra, não existe um real desafio, nem a necessidade de verificação para validar o processo de solução;
- c) o que é problema para um aluno pode não ser para outro, em razão do seu nível de desenvolvimento intelectual e dos conhecimentos de que eles dispõem.

Resolver um problema pressupõe que o aluno:

- a) elabore um ou vários procedimentos de resolução, como, por exemplo, realizar simulações, fazer tentativas e formular hipóteses;
- b) compare seus resultados com os de outros alunos;

c) valide seus procedimentos.

Resolver um problema não se resume a compreender o que foi proposto e a dar respostas aplicando procedimentos adequados. Aprender a dar uma resposta correta, que tenha sentido, pode ser suficiente para que ela seja aceita e até seja convincente, mas não é garantia de apropriação do conhecimento envolvido. Além disso, é necessário desenvolver habilidades que permitam pôr à prova os resultados, testar seus efeitos, comparar diferentes caminhos a percorrer para obter a solução. Nessa forma de trabalho, o valor da resposta correta cede lugar ao valor do processo de resolução.

O fato de o aluno ser estimulado a questionar sua própria resposta, a questionar o problema, a transformar um dado problema numa fonte de novos problemas evidencia uma concepção de ensino e aprendizagem não pela mera reprodução de conhecimentos, mas pela via da ação refletida, que constrói o verdadeiro conhecimento [PAR 99].

2.5.2 Utilização da história da matemática

A história da matemática, mediante um processo de transposição didática e juntamente com outros recursos didáticos e metodológicos, pode oferecer uma importante contribuição ao processo de ensino-aprendizagem em matemática.

Ao revelar a matemática como uma criação humana; ao mostrar necessidades e preocupações de diferentes culturas, em diferentes momentos históricos; ao estabelecer comparações entre os conceitos e processos matemáticos do passado e do presente, o professor tem a possibilidade de desenvolver atitudes e valores mais favoráveis no aluno frente ao conhecimento matemático. Além disso, conceitos abordados em conexão com a história constituem-se em veículos de informação cultural, sociológica e antropológica de grande valor formativo. A história da matemática é, nesse sentido, um instrumento de resgate da própria identidade cultural.

Em muitas situações, o recurso à história da matemática pode esclarecer idéias matemáticas que estão sendo construídas pelo aluno, especialmente dar respostas a alguns porquês e, desse modo, contribuir para a constituição de um olhar mais crítico sobre os objetos de conhecimento.

2.5.3 Busca de tecnologias de informação

As técnicas, em suas diferentes formas e usos, constituem um dos principais agentes de transformação da sociedade pelas implicações que exercem no cotidiano das pessoas. Estudiosos do tema mostram que os processos de escrita, leitura, visão, audição, criação e aprendizagem são processos apresados por uma informática cada vez mais avançada. Nesse cenário, insere-se mais um desafio para a escola, ou seja, o de como incorporar ao seu trabalho, apoiado na oralidade e na escrita, novas formas de comunicar e conhecer. Por outro lado, também é fato que o acesso aos computadores e a outros elementos tecnológicos já é uma realidade para parte significativa da população.

Estudos e experiências evidenciam que o computador é um instrumento que pode contribuir para a melhoria do ensino da matemática. A justificativa para essa visão é o fato de que ele pode ser usado como um instrumento motivador na realização de

tarefas exploratórias e de investigação. Além disso, ele abre novas possibilidades educativas, como a de levar o aluno a perceber a importância do uso dos meios tecnológicos disponíveis na sociedade contemporânea. O computador é também um recurso para verificação de resultados e correção de erros, podendo ser um valioso instrumento de auto-avaliação.

O fato de, neste final de século, estar emergindo um conhecimento por simulação, típico da cultura informática, faz com que o computador seja também visto como um recurso didático cada dia mais indispensável. Ele é apontado como um instrumento que traz versáteis possibilidades ao processo de ensino-aprendizagem de matemática, seja pela sua destacada presença na sociedade moderna, seja pelas possibilidades de sua aplicação nesse processo. Tudo indica que seu caráter lógico-matemático pode ser um grande aliado do desenvolvimento cognitivo dos alunos, principalmente na medida em que permite um trabalho que obedece a diferentes ritmos de aprendizagem.

Embora os computadores ainda não estejam amplamente disponíveis para a maioria das escolas, eles já começam a integrar muitas experiências educacionais, prevendo-se sua utilização em maior escala a curto prazo. Isso traz a necessidade de incorporação de estudos nessa área, tanto na formação inicial como na formação continuada do professor, seja para que ele possa usar amplamente suas possibilidades, seja para que conheça e analise *softwares* educacionais.

Quanto aos *softwares* educacionais, é fundamental que o professor aprenda a escolhê-los em função dos objetivos que pretende atingir e de sua própria concepção de conhecimento e de aprendizagem, distinguindo os que se prestam mais a um trabalho dirigido para testar conhecimentos dos que procuram levar o aluno a interagir com o programa de forma a construir conhecimento.

O computador pode ser usado como elemento de apoio para o ensino, como, por exemplo, em banco de dados e elementos visuais, mas também como fonte de aprendizagem e como ferramenta para o desenvolvimento de habilidades. O trabalho com o computador pode ensinar o aluno a aprender com seus erros e a aprender junto com seus colegas, trocando entre si suas produções e comparando-as.

2.6 Ambientes de aprendizagem em VRML

Para que os ambientes de aprendizagem implementados em VRML possam ter um impacto na educação, o conteúdo usado para delinear os currículos, as experiências dos alunos e a interação com o computador na sala de aula devem estar baseados na realidade, isto é, inseridos no contexto social do usuário.

Os ambientes de aprendizagem, para possibilitar a construção do conhecimento, devem usar sistemas exploratórios interativos e modelos digitais tridimensionais, construídos com precisão e sensibilidade, isto é, integrar os conteúdos de uma área de conhecimento (matemática, por exemplo) com técnicas avançadas de computação gráfica, promovendo, assim, a educação. A linguagem VRML tem feito uma diferença significativa na construção de ambientes 3D, apresentando um custo baixo e favorecendo a educação à distância. Agora, já é possível combinar o poder dos ambientes 3D com o poder dos sistemas de multimídia, criando experiências de

aprendizagem sem igual. Os programadores podem desenvolver uma rede global integrada e interativa de mundos virtuais usados para o ensino-aprendizagem de uma área de conhecimento.

Para que os mundos virtuais interativos possam estar disponíveis nas escolas, é preciso desenvolvê-los para várias plataformas. A estabilidade relativa da tecnologia de VRML está tornando esse desenvolvimento possível. Os AVs interativos permitem a auto-exploração de ambientes de informação em 3D com interação dinâmica entre o usuário e o ambiente; objetos podem mover, podem mudar e podem reagir ao usuário; sons podem prover no ambiente um contexto de informações que podem ser adicionadas por narração.

Por sua vez, os AVs anteriores impediam o desenvolvimento de amplas aplicações para educação ou pesquisa, enfatizando uma resposta em tempo-real e um movimento autodirigido, focado nas qualidades de experiências imersivas. As limitações dos AVs antigos, que impediam o desenvolvimento de aplicações para educação, eram:

- a) a exibição de texto era rudimentar, normalmente limitada a grupos de letras formadas por elementos 3D;
- b) não havia nenhum aparato que permitisse aos usuários manusearem ou folhearem textos e figuras dentro desses ambientes 3D [SAN 96].

A linguagem VRML corrigiu isso e tornou possível a integração de dados 3D modelados em VRML, texto 2D no padrão HTML, figuras e vídeo em uma página da WWW. As características avançadas como *frames* e múltiplas janelas permitem manusear, simultaneamente, informação em 3D e em 2D. Ambientes 3D podem, agora, ser usados para fazer o que eles têm de melhor: permitir que os usuários tirem vantagens através da compreensão da estrutura de espaço por auto-exploração, enquanto retêm todo o poder de detalhes providos pelos padrões de textos e figuras em 2D das páginas da *web*.

Os programadores e projetistas de *sites*, ao implementarem as páginas de um ambiente de aprendizagem utilizando *frames*, proporcionam ao usuário condições para que ele manuseie, simultaneamente, objetos implementados em VRML e utilize um embasamento textual para descrever as características desses dados. Isso permite que ele obtenha vantagens através da compreensão da estrutura de espaço.

2.7 Resumo

Neste capítulo, apresentou-se uma revisão bibliográfica sobre a aplicação de RV na educação. Inicialmente, relataram-se as experiências pelas quais as pessoas conhecem o mundo e as condições necessárias para o uso da RV na educação de matemática. Em seguida, descreveram-se as características da linguagem VRML, apresentando a história da especificação da linguagem, bem como a tendência da modificação do padrão para X3D por causa de problemas da linguagem. Após, fez-se uma descrição de trabalhos a respeito do uso do computador em sala de aula e, em especial, sobre o uso da tecnologia de RV. Em seqüência, foram apresentados os fatores motivadores que justificam a aplicação de AVs não-imersivos na educação e as

características dos ambientes de aprendizagem, bem como as condições para o desenvolvimento desses ambientes na matemática, como a construção do conhecimento e o desenvolvimento de aspectos cognitivos. Finalmente, descreveram-se as características dos ambientes de aprendizagem implementados em VRML.

3 Ambiente de aprendizagem

Neste capítulo, apresenta-se o modelo conceitual de um sistema de RV não-imersivo proposto como ambiente de aprendizagem para educação matemática, o qual engloba todas as etapas do processo de modelagem de um AV em VRML, bem como do desenvolvimento do *site* que o suportará. Primeiramente, descreve-se o modelo conceitual do protótipo e, após, apresenta-se a implementação do sistema.

3.1 Considerações iniciais

O objetivo principal deste trabalho é estudar as possibilidades do uso de sistemas de RV não-imersivos no processo de ensino-aprendizagem de matemática. Para tanto, apresenta-se uma proposta de um modelo conceitual de AV para o ensino-aprendizagem de matemática, o qual contempla três aspectos:

- deve ser baseado num ambiente familiar;
- esse ambiente familiar deve ser mapeado para representações matemáticas dos conceitos a serem abordados;
- deve prover mecanismos de avaliação dos alunos [PAS 99a].

O protótipo foi implementado como páginas HTML que provêm *frames*, os quais contêm o conteúdo abordado, os botões de controle da janela do *browser* HTML, os objetos modelados e os exercícios propostos. Projetaram-se textos no padrão HTML e objetos modelados em VRML, os quais permitem ao usuário explorar livremente o espaço, assegurando-se que a informação proveja uma experiência de aprendizagem coerente.

Os primeiros testes visando à implementação de um AV não-imersivo foram realizados com a construção de um sistema de passeio arquitetônico chamado MAT^{3D}. A Figura 3.1 apresenta a página inicial do mundo MAT^{3D} [PAS 99b].



Figura 3.1 - Página inicial do ambiente MAT^{3D}.

A Figura 3.2 exibe objetos modelados no mundo MAT^{3D}. Na figura (a), o aluno tem a visão inicial do ambiente. O mundo modelado é uma representação de uma cidade, nele se encontrando alguns dos principais prédios encontrados em uma cidade real, por exemplo, uma escola (representada aqui pela UFRGS), um ginásio de futebol, um museu, etc. O aluno pode utilizar os comandos do *browser* para navegar; nos vários objetos modelados, há *links* dos quais ele pode valer-se para deslocar-se de um *site* a outro.

Na figura (b), mostram-se as câmeras que foram implementadas de forma a permitir que o aluno navegue pelo ambiente utilizando caminhos predefinidos. As figuras (c) e (d) exibem os *links* para as páginas que apresentam os conteúdos abordados nesse mundo.

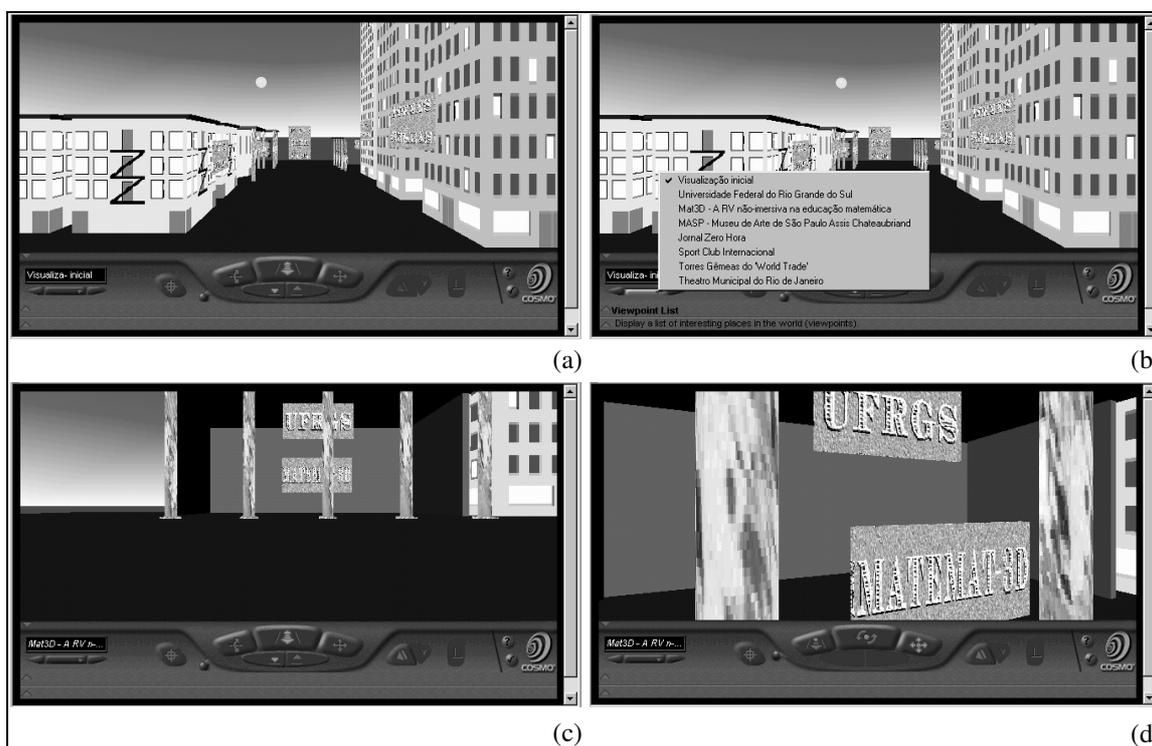


Figura 3.2 - Mundo VRML MAT^{3D}.

A intenção de modelar o mundo VRML MAT^{3D} como uma cidade foi de mostrar aos alunos que os objetos “reais” que eles vivenciam diariamente podem ser representados através de modelos matemáticos. Ao trabalhar com esses modelos, eles podem perceber as relações existentes entre os objetos. É possível, assim, mostrar-lhes que uma reta nada mais é do que uma seqüência infinita de pontos, que os planos são seqüências infinitas de retas, e assim por diante.

O AV MAT^{3D} é constituído de três sessões, cada uma representando uma etapa do processo de ensino-aprendizagem, contemplados no modelo conceitual proposto:

- a) ambiente familiar;
- b) representações matemáticas;
- c) avaliação de desempenho do aluno.

A Figura 3.3 exibe a estrutura proposta para o AV de ensino-aprendizagem de matemática MAT^{3D}.

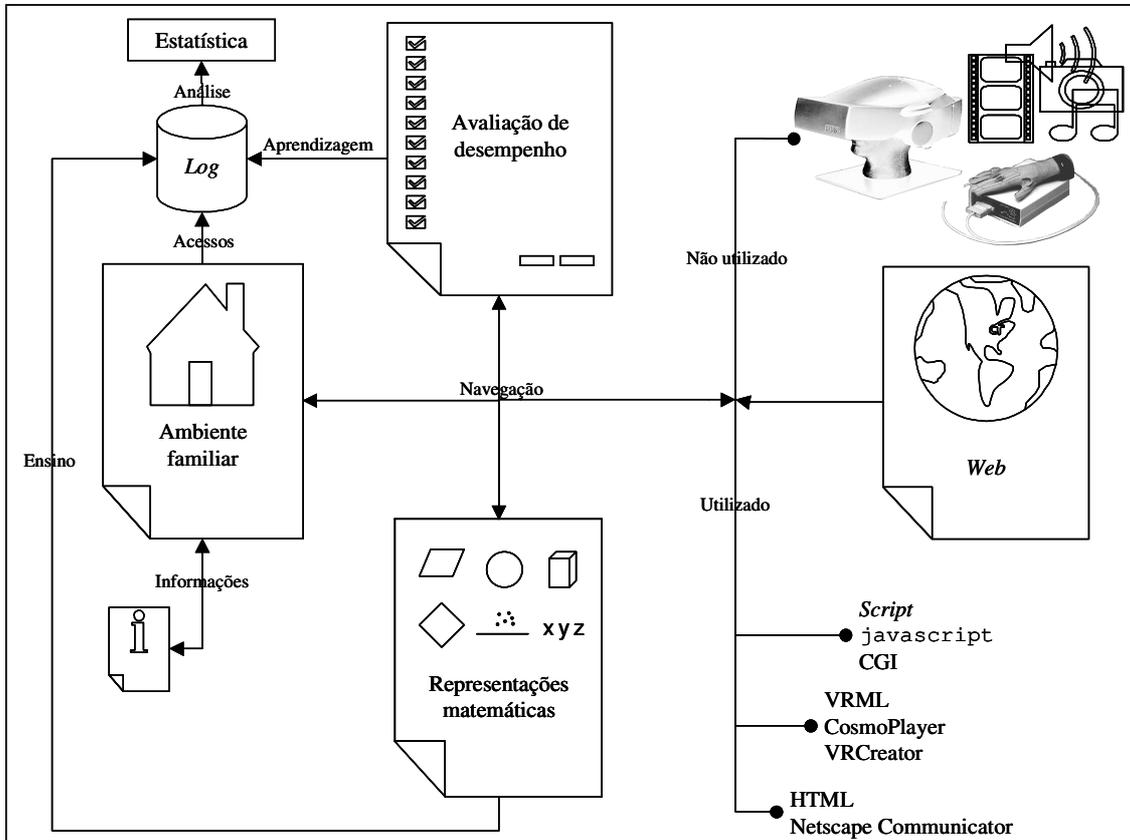


Figura 3.3 - Estrutura do AV MAT^{3D}.

O aluno, ao navegar pelo ambiente de aprendizagem proposto, estará, obrigatoriamente, ou na sessão “ambiente familiar” ou na sessão “representações matemáticas”. A sessão “avaliação de desempenho do aluno” encontra-se em todas as páginas do ambiente visto que ele deve, em todos os momentos, ser avaliado, tendo suas ações registradas.

3.1.1 Ambiente familiar

Na sessão “ambiente familiar”, à medida que o estudante navega pelo AV, depara-se com ambientes familiares - por *familiar* subentende-se que o estudante pode abstrair a situação proposta. Ele conhece o ambiente através de suas experiências de mundo real e pode apenas navegar nesse ambiente, não interagindo com os objetos. A Figura 3.4 exibe o diagrama proposto para a primeira sessão.

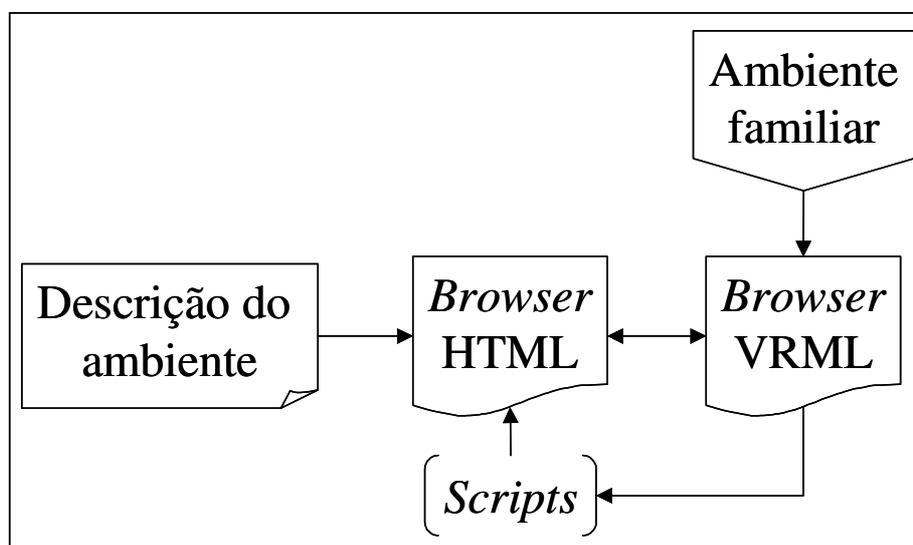


Figura 3.4 - Diagrama da sessão “ambiente familiar”.

Os arquivos HTML dessa sessão têm como finalidade apresentar aos alunos as informações necessárias à navegação. São implementados *scripts* em JavaScripts [McC 97] [KOC 97], os quais controlam o acesso dos alunos, registrando em um arquivo de *log* o nome e as ações que eles realizam durante a navegação. Tanto as ações nos documentos HTML quanto as ações nos mundos VRML são registradas no arquivo de *log*.

3.1.2 Representações matemáticas

Na sessão “representações matemáticas”, os objetos “reais” são representados como representações abstratas. Assim, o que antes era uma parede de uma casa tornar-se-á um plano; o que antes era um fio de alta-tensão de um sistema de iluminação pública tornar-se-á uma reta, etc. A finalidade de implementar o ambiente dessa forma está em permitir que o aluno construa o conhecimento do conteúdo de matemática abordado manipulando os objetos no AV.

A Figura 3.5 apresenta o diagrama proposto para a sessão “representações matemáticas”, na qual o estudante pode manipular os objetos. O objetivo, aqui, consiste em mostrar ao estudante que a visualização dos objetos, realizada na primeira sessão, pode ser feita, também na segunda sessão, mudando-se apenas a forma da representação dos objetos.

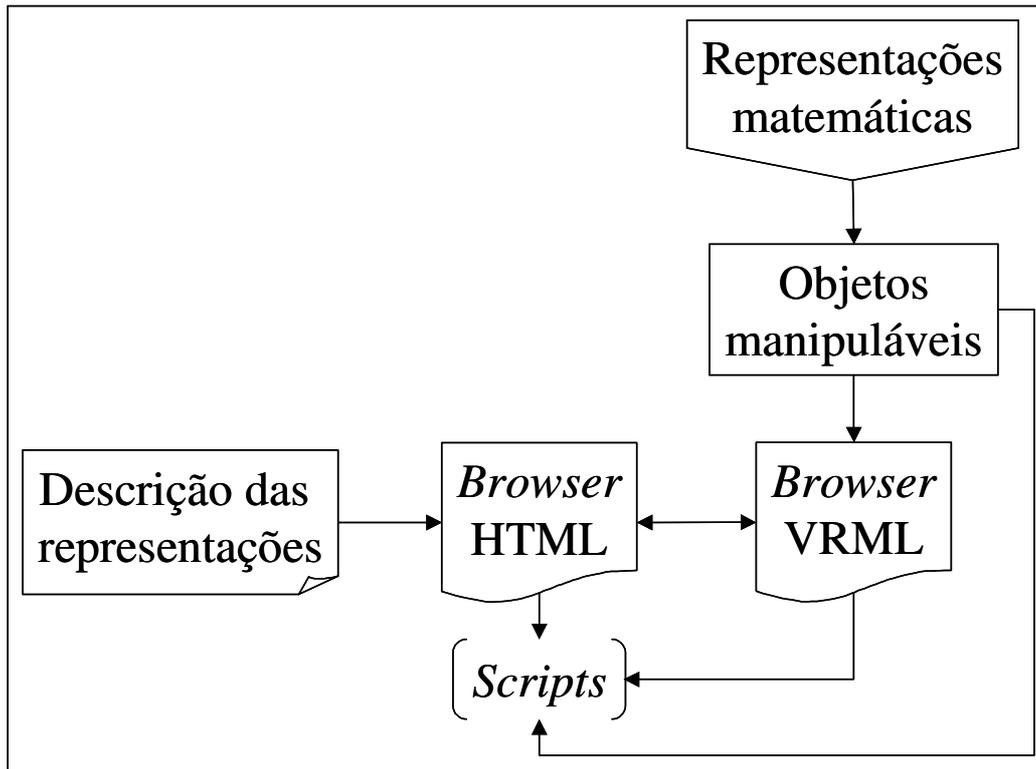


Figura 3.5 - Diagrama da sessão “representações matemáticas”.

A Figura 3.6 apresenta a estrutura do hipertexto da sessão “representações matemáticas”.

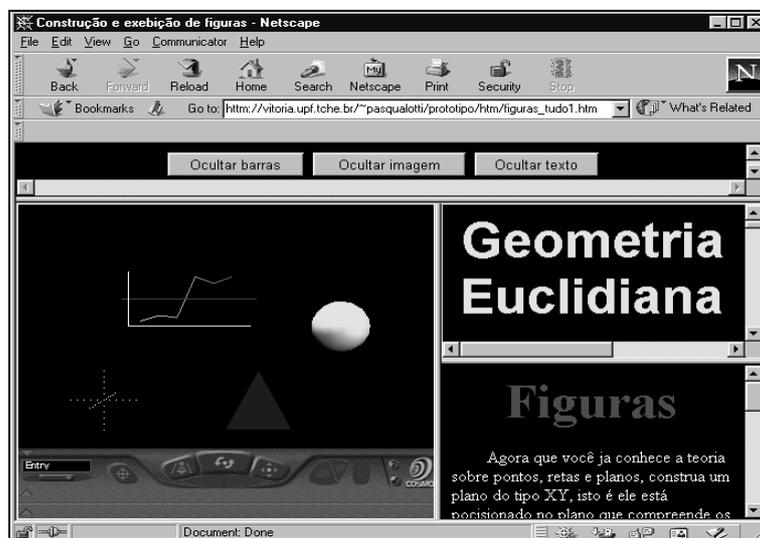


Figura 3.6- Plano dos *frames* da sessão “representações matemáticas”.

Os objetos modelados são posicionados no AV objetivando a interação e manipulação que o aluno poderá ter com eles no ambiente. Somente faz sentido ter um objeto no AV se ele puder desenvolver no aluno um conhecimento; assim, não há razão em modelar um objeto se ele não estiver dentro de um contexto maior. Por exemplo, os objetos modelados com a finalidade de desenvolver a aprendizagem de um conteúdo de geometria deverão pertencer ao mundo de geometria; assim, as leis que governam esse

mundo deverão levar em conta as leis de geometria, não as da física. Como Papert [PAP 85] afirma, o tópico estudado deve fazer sentido em termos de um contexto maior; é preciso relacionar o conhecimento que cada um tem com o conteúdo estudado. As “representações matemáticas” propostas no AV devem despertar um sentido de afeição e valor, bem como de competência cognitiva.

Nesta seção, inicialmente, o aluno tem acesso a informações do conteúdo estudado através de um referencial teórico composto por textos em 2D que tratam sobre o tópico abordado. Ao se deparar, por exemplo, com um objeto modelado em VRML que represente os “sólidos perfeitos de Euclides” [ELE 97], o aluno poderá acessar, ao mesmo tempo, hipertextos que apresentam a teoria desses sólidos.

Em todo o momento da navegação, o aluno poderá deslocar-se entre os objetos modelados em VRML (conteúdo em 3D) e os textos explicativos sobre o conteúdo abordado (conteúdo em 2D), o que é realizado através de botões implementados nos mundos VRML e nos hipertextos. Após a leitura do referencial teórico e a manipulação dos objetos, o aluno é instigado a “construir” o seu próprio objeto 3D. A Figura 3.7 exibe um exemplo de hipertexto que serve como embasamento teórico para o conteúdo estudado.

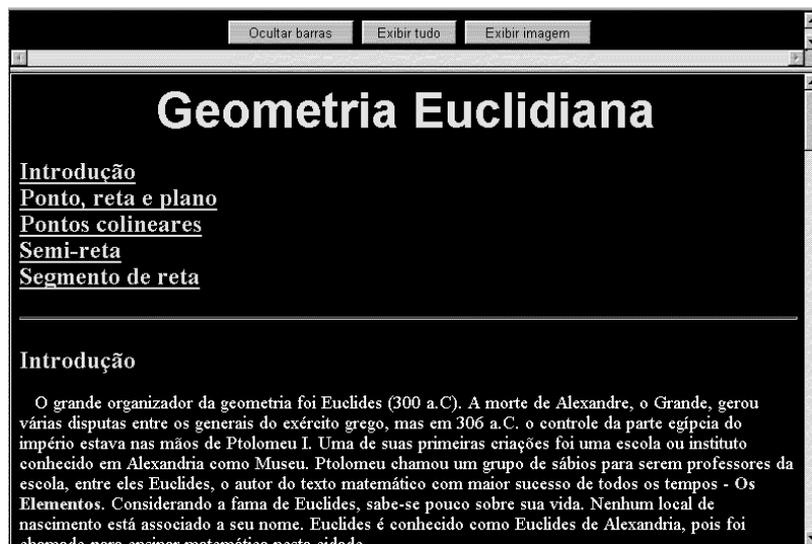


Figura 3.7 - Texto sobre geometria euclidiana.

Para que o aluno possa construir os objetos, ele tem acesso, nos arquivos HTML, a botões, caixas de texto, listas de seleção, caixas de verificação, etc. Para ativar o processo de construção do objeto, ele pode, por exemplo, digitar os valores, determinando o tamanho de uma reta, indicando os graus para girar um objeto no eixo x ou, ainda, selecionando uma categoria para determinar o tipo de navegação que quer ter no AV.

Nesta sessão, pretende-se iniciar o processo de construção do conhecimento. A Figura 3.8 mostra exemplos de objetos construídos pela interação do aluno com o ambiente.

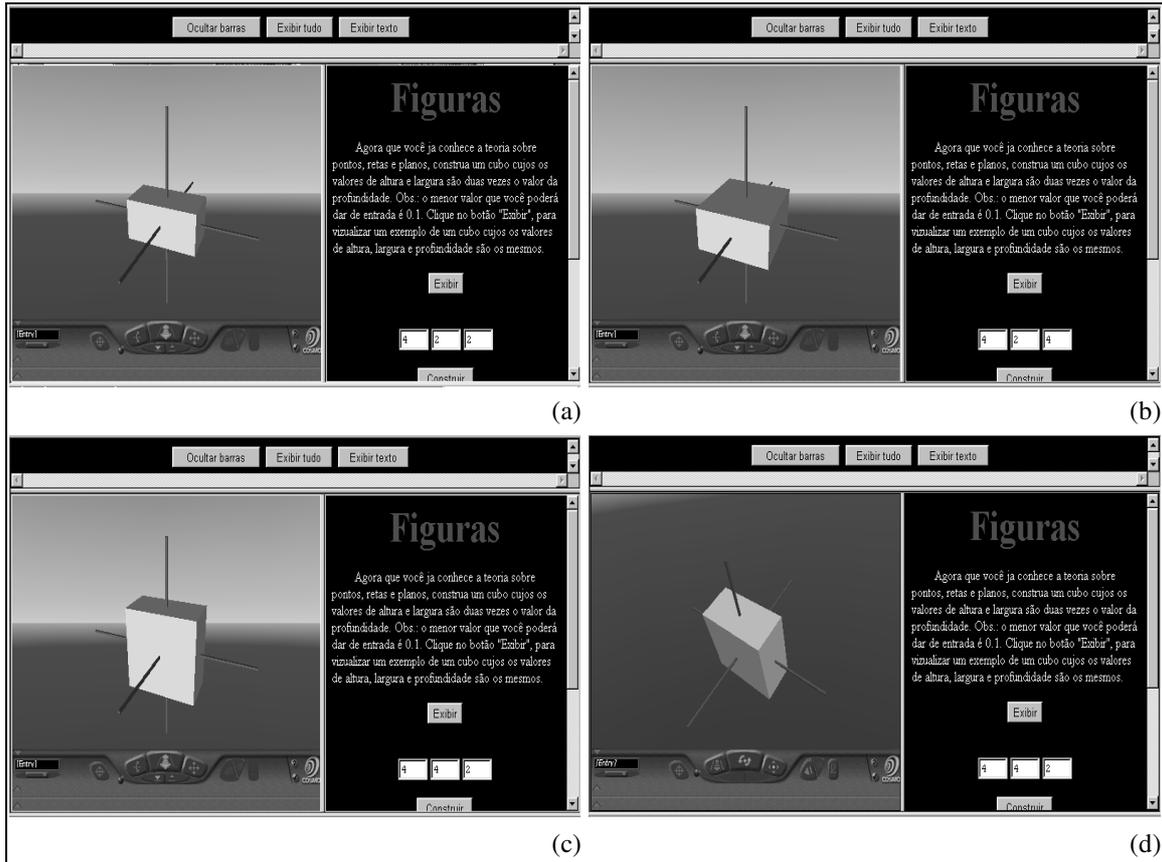


Figura 3.8 - Exemplos de objetos construídos.

Nas figuras (a) e (b), observa-se que o aluno construiu o cubo de uma forma errada e não utilizou os comandos do *browser* para poder visualizar a figura de um outro ângulo. Se ele tivesse feito isso, provavelmente teria descoberto o erro. Nas figuras (c) e (d), é exibido o cubo correto. Nesse instante, o aluno utilizou os comandos para rotacionar a figura e modificar o seu plano de visão, o que lhe possibilitou descobrir se tinha encontrado a resposta, isto é, se tinha construído o cubo requisitado.

3.1.3 Avaliação de desempenho do aluno

Na terceira sessão, é efetivada a verificação do grau de aprendizagem adquirido pelo estudante, porém, em todos os momentos da interação do aluno com o protótipo, foram registradas as suas “atitudes”. Por meio desses mecanismos, é possível realizar estatísticas para determinar o grau de aprendizagem. Na Figura 3.9, representa-se o diagrama proposto para a terceira sessão.

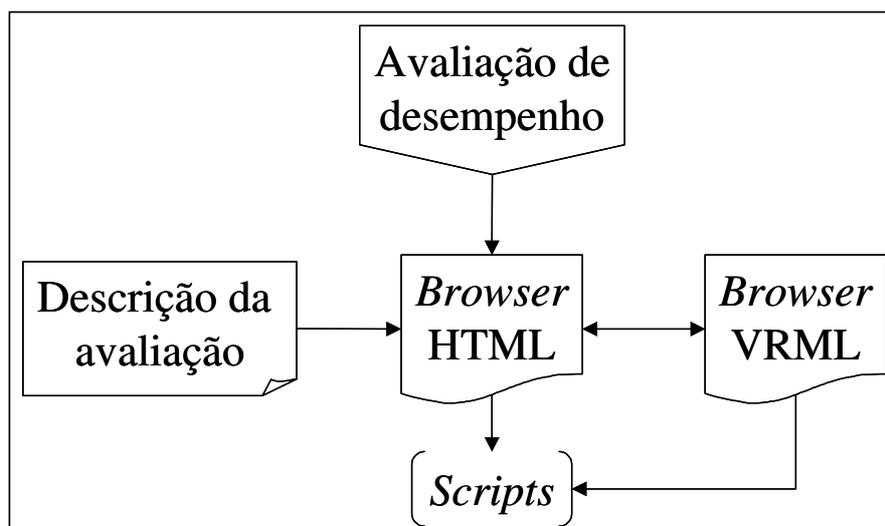


Figura 3.9 - Diagrama da sessão “avaliação de desempenho do aluno”.

Nesta sessão, o estudante é avaliado, devendo responder a questões sobre o conteúdo abordado. Para a implementação das questões, é utilizado um formulário eletrônico. Durante todo o processo de preenchimento do formulário, o aluno recebe informações sobre sua atuação e fica sabendo se acertou ou não a questão a que está respondendo.

O fato de permitir que, durante o tempo do preenchimento do formulário, o aluno possa saber qual foi o seu desempenho frente às questões possibilita sua maior interação com o conteúdo abordado. Se ele não conseguir responder a uma questão, poderá retornar à página que contém o conteúdo para analisá-lo novamente. Como o conteúdo é exemplificado com um objeto modelado em VRML, o deslocamento do aluno até ele é muito mais dinâmico.

A Figura 3.10 mostra a página proposta para esta sessão; nas figuras (a) e (b), vê-se o conteúdo abordado. O aluno tem acesso a textos em 2D e a objetos modelados em VRML que representam esse conteúdo, podendo manipular os objetos utilizando os controles do *browser* ou clicando sobre eles. Ao clicar sobre os objetos modelados, *scripts* implementados nos arquivos VRML ativarão eventos, os quais serão usados para melhor exemplificar o conteúdo [SCH 99a] [SCH 99b].

As figuras (a) e (b) fazem parte da segunda sessão (representações matemáticas), sendo exibidas neste momento para mostrar a relação que há entre o conteúdo abordado, representado em textos 2D e objetos 3D, e as questões implementadas para a avaliação do aluno.

Nas figuras (c) e (d), vêem-se os exercícios propostos. O primeiro *frame* do documento contém botões que controlam o deslocamento entre o referencial teórico do conteúdo abordado e os exercícios. No segundo, encontram-se os objetos modelados em VRML, que representam o tópico em estudo, os quais, como foi dito anteriormente, possuem *scripts* que possibilitam a interação do usuário. O terceiro *frame* é utilizado para exibir o formulário com os exercícios propostos.

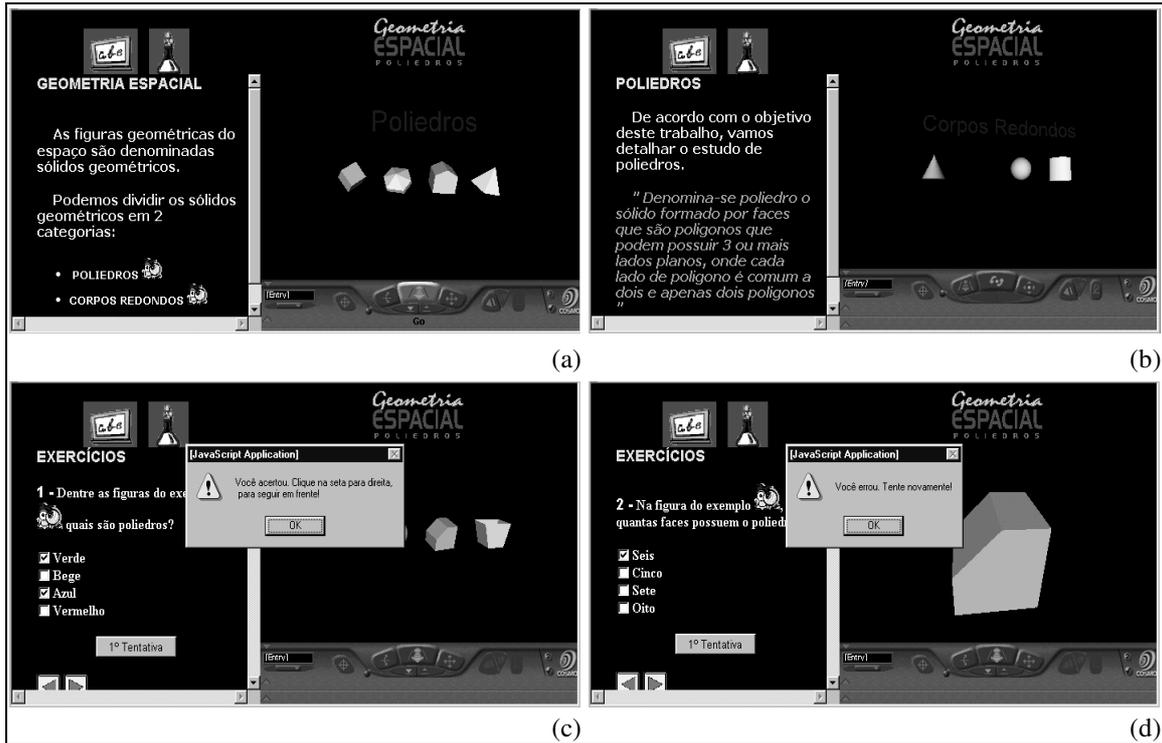


Figura 3.10 - Exercícios propostos e *feedback* proporcionado pelo AV.

A Figura 3.11 exibe o conceito do aluno. Esta forma de interface, implementada com o método `alert`, tem duas finalidades. A primeira é proporcionar um *feedback* imediato ao aluno em relação o seu desempenho, ou seja, se ele não “gostou” do seu desempenho, poderá responder novamente às questões. Entretanto, como o professor utiliza os registros no arquivo de *log* para avaliá-lo, o número de vezes que ele responde aos exercícios é pouco importante. A segunda finalidade é em relação ao professor, que, utilizando os conceitos predefinidos, poderá desenvolver uma avaliação ampla da turma. Portanto, tendo em mãos tais informações, ele poderá mapear as condições da sua turma em relação ao conteúdo abordado.

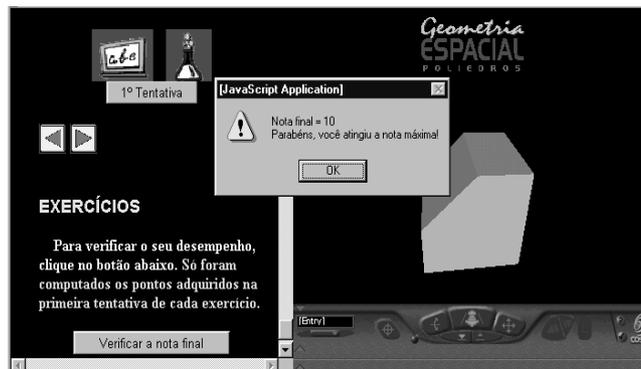


Figura 3.11 - *Feedback* final do AV ao responder aos exercícios.

Se os alunos não obtiveram bons conceitos, isso provavelmente significa que eles não aprenderam de uma maneira satisfatória, ou seja, o processo de ensino-aprendizagem não ocorreu. Dessa forma, eles deverão estudar novamente o conteúdo proposto, talvez, agora, utilizando novos objetos que representem o referencial

teórico. O fato de as páginas terem sido implementadas com *frames* permite a modificação do conteúdo dos hipertextos de uma forma mais rápida.

Uma outra maneira de avaliar os alunos é utilizando um hipertexto que contém o referencial teórico e os objetos modelados em VRML que representem este referencial. Após a leitura do referencial e a manipulação dos objetos, é solicitado aos alunos que digitem as palavras-chave que consideram importantes, cuja análise permitirá ao professor determinar um perfil da turma; para cada etapa de leitura, são requisitadas cinco palavras-chave. Se o aluno, ao tentar encontrar tais palavras, utiliza o método de tentativa de acerto e erro, provavelmente não irá obter um bom conceito, pois o número e a ordem das palavras digitadas são registrados no arquivo de *log*, cuja análise pelo professor definirá um conceito para o aluno. Não basta, porém, apenas, encontrar as palavras-chave; é preciso obtê-las no menor tempo possível para que ele atinja um bom conceito.

A Figura 3.12 mostra a página que foi implementada para criptografar as palavras-chave. Em uma das caixas de texto, é digitado o texto que deverá ser criptografado; a outra caixa exibe o texto já criptografado.

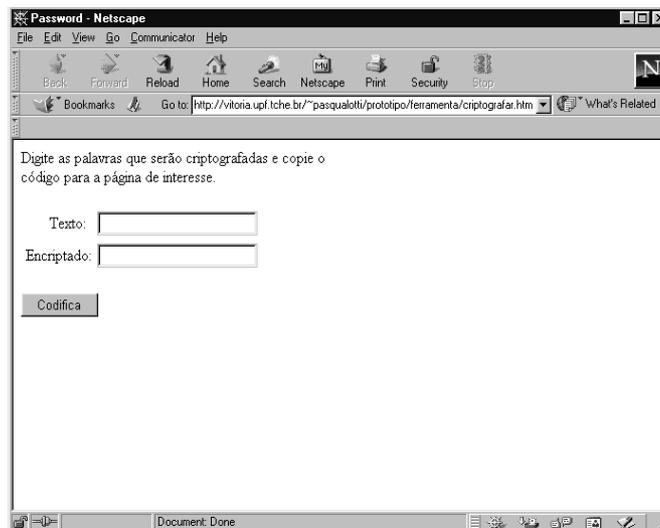


Figura 3.12 - Hipertexto que contém funções para criptografar as palavras-chave.

Na Figura 3.13, exibe-se o hipertexto que contém o formulário para a digitação das palavras-chave. Ressalta-se que, neste momento do protótipo, o mais importante não é avaliar a interação dos alunos com o AV modelado em VRML, mas procurar levantar dados para descobrir a interação dos alunos com os textos em 2D.

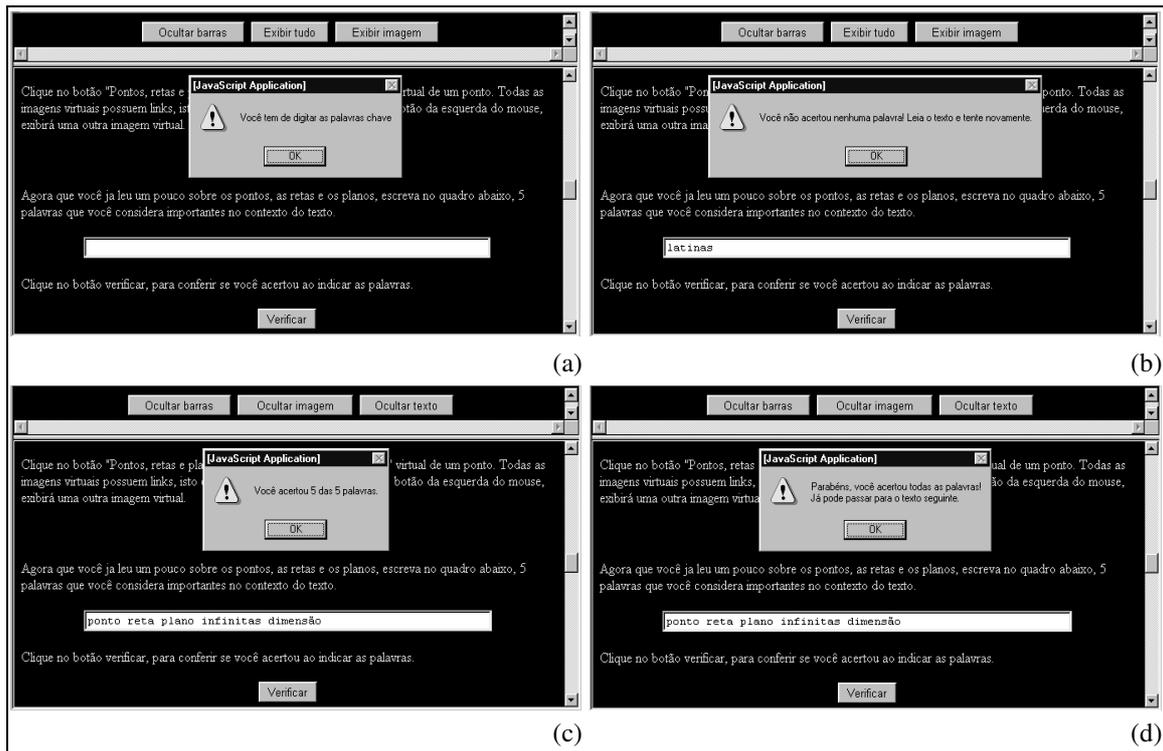


Figura 3.13 - Exemplos de páginas com formulários para digitar as palavras-chave.

De nada adianta concluir que os alunos não obtiveram um ganho expressivo de aprendizagem utilizando a manipulação de objetos tridimensionais se não se puder avaliar se a causa do fraco desempenho deveu-se à leitura do conteúdo. É preciso, pois, ter condições de, durante todo o tempo de interação do aluno com o sistema, registrar os dados dessa interação. Neste trabalho, como foi dito anteriormente, a condição para isso foi a utilização do arquivo de *log*.

3.2 Mundo VRML MAT^{3D}

O mundo VRML MAT^{3D} foi desenvolvido para ser executado em um PC, com velocidade mínima de 100 MHz, 16 MB de RAM e espaço de disco de 4 MB. Para ser mais bem visto, é necessário o Netscape 4.5 ou superior com o *plug-in* CosmoPlayer 2.1.

Para a implementação dos arquivos HTML, foi utilizado o editor Microsoft[®] WordPad e, para a elaboração dos mundos VRML, utilizou-se, além do editor de texto, o Building VRML VRCreator 2.0 Learning Edition Versão 2.02 da Platinum Technology, Inc. [VRC 2000]. Esses *softwares* estavam instalados em um PC Pentium[®] (Intel Corporation) de 233 MHz com 64 MB de RAM e sistema operacional Microsoft[®] Windows 98.

Conforme mencionado na seção 3.1, o mundo VRML MAT^{3D} foi implementado com algumas posições de observação pré-definidas. A Figura 3.2 (b) apresenta as opções que foram implementadas utilizando o *nodo* Viewpoint para o mundo MAT^{3D}. A Figura 3.14 exhibe código deste *nodo*.

```

...
Viewpoint {
  position 0 3 -45
  orientation 0 3 0 -1.571
  description "Mat3D - A RV não-imersiva na educação
  matemática"
  jump FALSE
}
...

```

Figura 3.14 - Definição para visualização de uma cena no mundo VRML.

O *nodo* Viewpoint define uma localização específica no sistema de coordenada local, que permite ao usuário poder ver uma cena. A posição de espectador e a orientação são determinadas por, no máximo, um Viewpoint de cada vez. [CAR 97a]. A Figura 3.15 mostra o código da implementação dos *links* descritos na Figura 3.14.

```

...
Transform {
  translation 39.5 0 -41
  rotation 0 1 0 -1.571
  children [
    DEF LINK1 Anchor {
      url "../htm/figuras_tudo1.htm"
      description "MAT3D"
      parameter []
      children [
        Inline {
          url "../exemplos/matemat3d.wrl"
        }
      ]
    }
  ]
}
...

```

Figura 3.15 - Definição de *link* para o mundo MAT^{3D}.

O *nodo* Anchor carrega o conteúdo de um URL quando o usuário ativa, através de um clique, um objeto. Se o URL aponta um arquivo de VRML válido, o mundo carregado substitui o mundo do qual o *nodo* Anchor faz parte. Se os dados carregados são do tipo não-VRML, o *browser* determinará como dirigi-lo; normalmente, vão ser passados a um *browser* apropriado para dados do tipo não-VRML. O campo *description* do *nodo* Anchor especifica uma descrição textual, o que pode ser usado como interface de usuário por fornecer informações mais detalhadas sobre o *nodo* Anchor. O campo *parameter* pode ser usado para prover qualquer informação adicional a ser interpretada pelos *browsers* VRML, ou de HTML [CAR 97a] [SOF 97].

O ambiente foi implementado com um documento *frameset*, que define o *layout* dos *frames* pertencentes ao hipertexto. A Figura 3.16 exibe a implementação do hipertexto que controla o conteúdo dos *frames*.

```

...
<head>
<title>Construção e exibição de figuras</title>

<script>
  state=1
  loc="estrutural.htm"
  locvrml="../wrl/figuras_inicial.wrl"
  loctexto="figuras_texto.htm"
  locbotoes="figuras_botoes.htm"
</script>

</head>

<frameset rows="60, *" >
  <frame scrolling="yes" name="cabecalho" src=_
    "figuras_cabecalho1.htm">
  <frame name="botoes" src="estrutural.htm">
</frameset>
...

```

Figura 3.16 - HTML que define o conteúdo dos *frames*.

O primeiro *frame* do documento contém botões que controlam a forma de exibição da janela; no segundo, encontram-se os objetos modelados em VRML, que representam o tópico em estudo; o terceiro *frame* é utilizado para exibir o referencial teórico do conteúdo estudado e o quarto contém os botões os quais o aluno pode utilizar para construir e modelar os seus próprios objetos 3D. A Figura 3.17 exibe a implementação do *script* que controla a exibição inicial da janela do *browser*.

```

<script>
  document.write('<frameset cols="55%, 45%">');
  document.write('<frame name="vrml" src=');
  document.write(parent.locvrml);
  document.write('><frameset rows="50%, 50%">');
  document.write('<frame name="texto" src=');
  document.write(parent.loctexto);
  document.write('><frame name="form" src=');
  document.write(parent.locbotoes);
  document.write('></frameset></frameset>');
</script>

```

Figura 3.17 - *Script* que controla a exibição da janela do *browser*.

Na Figura 3.18, vê-se parte da implementação do *script* que controla os botões de exibição da janela do *browser*.

```

<script>
if (parent.state == 1)
{
  document.write('<td><input type="button" name="o_
  cul_img" value="Ocultar imagem" onClick="paren_
  t.state=2;parent.frames[1].location=parent.loc_
  texto;history.go(0) ">&nbsp;&nbsp;&nbsp;</td>');
  document.write('<td><input type="button" name="o_
  cul_tex" value="Ocultar texto" onClick="parent_
  .state=3; parent.frames[1].location=\'estrutur_
  a2.htm\' ;history.go(0) ">&nbsp;&nbsp;&nbsp;</TD>')
}
else if (parent.state == 2) { ... }
else if (parent.state == 3) { ... }
</script>

```

Figura 3.18 - *Script* que define a forma de exibição da janela do *browser*.

O objetivo ao deixar o aluno escolher a forma de exibição da janela está em avaliar se o tamanho dos objetos exibidos na tela, isto é, se a limitação visual proporcionada pela tela do monitor influencia ou não no seu desempenho com o uso do protótipo.

Ao se deparar com um objeto, o aluno pode manipulá-lo utilizando os controles do *browser* VRML. A interação é realizada utilizando os *nodos sensors* e os *scripts* implementados nos arquivos VRML [CAR 97a]. A Figura 3.19 exhibe a implementação de um sensor em um arquivo VRML, que permite a modificação do posicionamento do objeto no AV.

```

#VRML V2.0 utf8

DEF TRANSFORM Transform
{
  children
  [
    Shape
    {
      geometry Sphere { }
    }
    DEF PLANO PlaneSensor { }
  ]
}
ROUTE PLANO.translation_changed TO
TRANSFORM.set_translation

```

Figura 3.19 – Exemplo de uso para o *node* PlaneSensor.

Os sensores são assim chamados por poderem “sentir” as modificações ocorridas nos objetos, percebendo as mudanças no estado do objeto (TouchSensor, CylinderSensor, PlaneSensor e SphereSensor), ou as mudanças do tempo (TimeSensor), ou, ainda, as mudanças relacionadas com o movimento do objeto no

mundo virtual, através dos controles do *browser VRML* (*ProximitySensor*, *VisibilitySensor*, *Collision*). Ao clicar sobre o objeto 3D implementado com os *nodos* descritos, o aluno pode manipulá-lo, modificando a sua posição no mundo VRML.

Os botões e caixas de texto a que o aluno tem acesso para construir os objetos nos arquivos HTML são implementados em JavaScript e inseridos no hipertexto, permitindo que se modifique a forma ou o tamanho do objeto no AV proposto ao aluno. Na Figura 3.20, mostra-se o código da função que é ativada quando o aluno clica no botão “Exibir”.

```
function figuras_exibir()
{
  registra('', 'Figura');
  parent.frames[0].document.open("x-world/x-vrml");
  parent.frames[0].document.writeln('#VRML V2.0 utf8');
  parent.frames[0].document.writeln('Group{...}');
  parent.frames[0].document.close();
}
```

Figura 3.20 - Função que cria um arquivo VRML.

A figura exibida ao executar a `function figuras_exibir` é um objeto VRML predefinido. O objetivo, ao implementar uma função que constrói um objeto dessa maneira, está em possibilitar ao aluno acesso à figura inicial.

Para poder responder às questões, o aluno manipula objetos implementados em VRML, podendo interagir com eles e, ao mesmo tempo, responder a uma questão; ou pode deslocar-se para uma página que contém o conteúdo estudado para poder lê-lo novamente. Todo esse processo de deslocamento entre os *frames*, de *feedback* do preenchimento do formulário e de registro da resposta no arquivo de *log* é controlado por *scripts*. A Figura 3.21 mostra o diagrama implementado para o *script* que controla as respostas às questões dadas pelos alunos.

```
<script>
  Figura 3.21(a)
  Figura 3.22(b)
  Figura 3.23(c)
</script>
```

Figura 3.21 - Diagrama do *script* que controla os exercícios.

Na Figura 3.22, são implementadas as variáveis do *script* apresentado na Figura 3.21. A variável `cont` registra o número de questões que o aluno acertou, registro que é controlado pela variável `contsuper` e `supercontador`. Por meio desse controle, é possível apresentar o conceito que o aluno obteve ao responder às questões.

A variável `tentativa` determina o número de vezes que o aluno respondeu a uma questão, o que é importante para a sua avaliação pelo professor. A avaliação final que este fará do aluno não considerará o número de respostas certas, mas o número de

vezes que ele respondeu à questão, ou seja, quanto mais tentativas foram necessárias para encontrar a resposta certa, menor será o conceito que o aluno irá obter.

```

...
cont1=0
...
cont10=0
tentativa1=1
...
tentativa10=1
contsuper1=1
...
contsuper10=1
conceito=""
supercontador=0
... (a)

```

Figura 3.22 - Definição das funções do *script*.

Na Figura 3.23, apresenta-se o código da função *testa*, a qual controla a resposta que o aluno deu à questão pelo preenchimento do formulário. Optou-se em utilizar, no formulário para a indicação da resposta da questão, o objeto *checkbox*, o qual permite que mais de uma opção possa ser marcada, o que é importante, pois aumenta o número de respostas possíveis para a questão. Se fosse utilizado o objeto *radio*, a questão teria apenas uma alternativa correta, o que reduziria de 16 para 5 opções.

```

...
function testa1() {
contador=1
cont1=cont1+1
  if ((document.fexercicio1.o1.checked)&(document.fexerc_
    cicio1.o3.checked)) {contador=2}
  if (document.fexercicio1.o2.checked){contador=0}
  if (document.fexercicio1.o4.checked){contador=0}
  if (contador==1){ alert ("Você deixou em branco, ou _
    Errou !")}
  if (contador==2){ alert ("Você acertou, continue em _
    frente !") tentativa=tentativa+1}
  if (contador==0){ alert ("Você errou, tente de novo!_
    ") tentativa=tentativa+1}
  if (contsuper1==1) { contsuper1=contsuper1+1
    if (contador==2) { supercontador=supercontador+1 }}
  if (contador==1) {cont1=0}
document.fexercicio1.b1.value=(tentativa+"°TENTATIVA")
}
...
function testa10(){...}
... (b)

```

Figura 3.23 - Função que testa as respostas.

A Figura 3.24 apresenta o código da função *media*, na qual é implementado o controle da variável *supercontador*. Através do número de alternativas corretas, é possível determinar o conceito que o aluno terá; é o *feedback* final do sistema ao aluno.

```

...
function media() {
  if (supercontador<=6) { conceito="Você precisa estudar mais!"}
  if (supercontador==7) {...}
...
  if (supercontador==10) { conceito="Parabéns, você atingiu a nota Máxima!"}
  alert("NOTA FINAL = "+supercontador+" - " +conceito)
}
(c)

```

Figura 3.24 - Função que apresenta o resultado da avaliação.

O método `alert` é utilizado como interface com o aluno, descrevendo a situação da resposta. É o *feedback* que o sistema apresenta ao aluno, através do qual ele decide se necessita ou não ler o texto e manipular os objetos novamente. Se, por tentativa e erro, ele não encontra a resposta, possivelmente, isso ocorreu por ele não ter lido o texto. Para que o professor tenha condições de detectar uma situação assim, foi implementada a função *tentativa*, por meio da qual se descobre a verdadeira interação realizada pelo aluno com o ambiente. Nesse sentido, não é tão importante o número de repostas certas, como o é a média de tentativas. Se, por exemplo, os alunos, para responderem à questão número 1, necessitaram de 5,0 tentativas, em média, e 2,8 para as outras questões, isso pressupõe que o conteúdo abordado na questão 1 deve ser novamente estudado, ou analisado através de outros exemplos de objetos modelados.

Com essas informações, pode-se tanto avaliar o desempenho do aluno frente a um conteúdo quanto o ambiente de aprendizagem proposto. Se forem detectados problemas nos objetos, será necessário implementar modificações na sua modelagem. Neste trabalho, não se tratará de forma como avaliar esses possíveis problemas encontrados na modelagem dos objetos.

3.3 Arquivo de *log*

O arquivo de *log* é um arquivo-texto padrão ASCII. Para armazenar os dados no arquivo de *log*, foi desenvolvido um *script* que ativa um CGI, implementado em C, o qual registra no arquivo de *log* o nome do aluno, o URL que está sendo acessado, a ação do aluno durante a navegação, a data e a hora de acesso e o tempo, através do método `getTime`³. O CGI gera no arquivo de *log* uma linha para cada ação executada pelo aluno [BRU 99]. A Figura 3.25 apresenta o mecanismo de registro no arquivo de *log* realizado pela execução do *script* quando cada página do *site* é acessada.

³ Tempo em milissegundos decorrido desde 01/01/1970 00:00:00 até o presente momento.

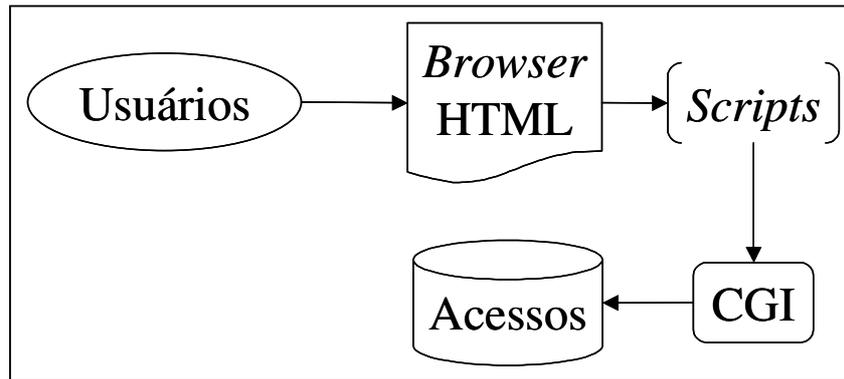


Figura 3.25 - Mecanismo de registro no arquivo de *log*.

Além do *script* que ativa o CGI, um outro *script* é executado quando os alunos acessam o *site*, o qual contém o método `prompt` e a propriedade `document.cookie` [McC 97]. O método `prompt` exibe um diálogo com uma caixa de entrada de uma única linha, no qual os alunos digitam o seu nome e clicam no botão “OK”, ou pressionam a tecla *Enter*; dessa forma, é registrado no arquivo de *log* o nome do aluno que está acessando o URL (String).

Da forma como o *script* foi implementado, se o aluno não digita nada ou apaga o texto na caixa de texto e, depois, pressiona o botão “OK”, a informação não é registrada (String vazia), isto é, o campo “nome” do arquivo de *log* fica em branco; se ele clica o botão “Cancel”, a informação registrada no arquivo de *log* será *null* (Null). A Figura 3.26 exibe o código do *script* que contém o método `prompt` e a propriedade `document.cookie`.

```

<script>
  if (document.cookie == "")
  {
    nome = prompt("Digite o seu nome", "");
    document.cookie = nome;
  }
</script>
  
```

Figura 3.26 - Propriedade `document.cookie` e método `prompt`.

Utiliza-se a propriedade `document.cookie` para armazenar no arquivo de *log* o nome do aluno que realizou uma ação no ambiente. Para que o Netscape aceite o *cookie*, deve ser mantida selecionada a opção *Accept all cookies*, do menu *Edit*, opção *Preferences*, categoria *Advanced*.

3.4 Registro das ações do aluno no AV

Um AV implementado em VRML para ser aplicado à educação tem de possibilitar a manipulação dos objetos pelos estudantes (de nada adianta implementar um objeto que possa ser somente visualizado). Esta é, sem dúvida, a característica mais importante dos ambientes de aprendizagem implementados utilizando a tecnologia de RV. Outra característica é a condição da construção dos objetos; os usuários do

ambiente devem ter condições de construir os seus próprios objetos, o que lhes permitirá o desenvolvimento de vários processos cognitivos.

Uma terceira característica que muitos programadores de mundos VRML gostariam de poder implementar são os mundos para multiusuários, o que, hoje, a especificação de VRML97 não permite. Outro problema refere-se ao tamanho dos arquivos VRML. Atualmente, na forma como os arquivos VRML são implementados, os *browsers* demoram muito para carregá-los.

Todas essas questões são conhecidas e já foram comentadas anteriormente. Além disso, um ambiente de aprendizagem em VRML somente tornar-se-á útil se for possível registrar as ações que os alunos realizaram durante a navegação feito nele. Para que o processo de ensino-aprendizagem ocorra, é preciso descobrir se o ambiente foi atrativo para o aluno. Não adianta modelar objetos para ensinar geometria se não for possível descobrir como a interação do aluno com tais objetos proporciona a aprendizagem.

Uma forma de avaliar isso seria a análise dos resultados obtidos pelos alunos em relação aos exercícios propostos. Entretanto, um ambiente implementado para ensinar geometria, que tem como embasamento teórico a teoria do construtivismo, somente analisar os dados resultantes das respostas que os alunos deram para os exercícios não basta. É preciso descobrir como o aluno se comportou dentro do ambiente e de que forma esse comportamento possibilitou ou não a aprendizagem do conteúdo proposto.

Os *browsers* VRML não possuem mecanismos para registrar o comportamento dos usuários. Por exemplo, não é possível saber que botões do painel de movimento ou do painel de examinação do *browser* foram usados e por quanto tempo. Se fosse possível realizar uma análise das interações do usuário com o *browser*, poder-se-ia determinar o perfil do usuário; descobrir por que alguns alunos aprenderam o conteúdo e outros não; ou o que influenciou a aprendizagem: se foi o ambiente, a tecnologia de RV ou o próprio *browser*.

Os *browsers* não possuem tais mecanismos de registro das ações do usuário, mas é possível implementar mundos onde a interação do aluno com o objeto possa ser registrada. Contudo, nem toda interação pode ser registrada. Por exemplo, não é possível saber o caminho que o aluno realizou durante a navegação: se o mundo implementado for uma casa e o objetivo é se deslocar até um dos seus quartos, não é possível descobrir qual foi a porta ou a janela que o aluno utilizou para entrar na casa; se o objeto implementado for uma figura sólida de geometria espacial, não é possível saber que ângulo de visão o usuário utilizou para visualizar “melhor” a figura. Caso se pudessem registrar tais ações, certamente seria possível avaliar melhor o resultado do uso do mundo VRML [MOR 99] [PIN 99]. Acredita-se que, à medida que a linguagem VRML evolua, seja possível implementar mundos que permitam registrar tais ações. Nas figuras a seguir, apresenta-se a implementação dos objetos que possibilitam o registro das ações.

A linguagem VRML permite o encapsulamento de grupos de vários *nodos* formando um novo tipo de *nodo*, isto é, um protótipo, o qual fica disponível para qualquer nova aplicação e criação de novas instâncias. Na Figura 3.27, é exibido o código do *nodo* `PROTO` implementado no objeto que executa o evento do registro da ação. Neste trabalho, utilizou-se a nomenclatura *botões de controle* para descrever quais

são os objetos que foram implementados com o evento. Optou-se em utilizar o *nodo* PROTO em razão de ficar disponível para ser usado pelos outros objetos.

```
PROTO Botao1 [
  field MFString BotaoURL1 [ ]
  field MFString BotaoLog1 [ ]
  field SFString BotaoDescricao1 ""
  field MFString BotaoParametro1 ""
]
```

Figura 3.27 - Definição da prototipação dos botões de controle no mundo MAT^{3D}.

A prototipação em VMRL é o mecanismo que permite que o conjunto original de tipos de *nodos* seja estendido a partir de um arquivo. A construção dos protótipos é muito semelhante à das definições de classes em programação orientada a objetos, permitindo fazer o encapsulamento e a parametrização de formas geométricas, atributos, comportamentos ou alguma combinação desses.

Para criar um protótipo, é preciso especificar o seguinte:

- a) a palavra-chave PROTO;
- b) um nome para o novo tipo de *nodo*;
- c) uma declaração do protótipo que contém uma lista de `eventIns` e `eventOuts` públicos, os quais podem enviar e receber eventos, e uma lista de campos públicos comuns e do tipo `exposedField`, com seus valores padrão;
- d) uma definição do protótipo que contém uma lista de um ou mais *nodos* e zero ou mais ROUTE e protótipos. Os *nodos*, nesta lista, podem conter campos e nomes de eventos associados com os nomes de eventos e campos contidos na declaração do protótipo, através do uso da palavra-chave IS.

Os principais fatores para se usar a prototipação são:

- a) um mecanismo de extensibilidade, que permite definir um novo tipo de *nodo* em termos de outros *nodos* predefinidos;
- b) um mecanismo de proteção, que permite a um programador limitar o que pode ser feito a um objeto; nesse caso, o único modo de violar a interface definida por um protótipo consiste em fazer uma cópia da implementação e modificar a cópia;
- c) um método para definir uma biblioteca de objetos reutilizáveis;
- d) um mecanismo de definição de objeto, que permite a alguém impor, na aplicação, políticas específicas da estrutura geral do mundo VRML;
- e) um mecanismo de conveniência, que permite empacotar o comportamento do objeto de um modo fácil de usar;
- f) um mecanismo de otimização, que permite aos *browsers* definir quais são os objetos que podem ou não podem ser mudados;
- g) um mecanismo que permite a criação de abreviaturas de *nodos* usados com mais frequência.

Os protótipos dão à VRML muita flexibilidade. Muitos argumentos sobre os detalhes dos desenhos em VRML são concluídos, mostrando que as características em questão podem ser implementadas, usando-se os mecanismos de prototipagem e os *nodos* embutidos. A Figura 3.28 exibe o diagrama proposto para a implementação do *nodo* Transform do objeto VRML.

```

...
Transform {
  children [
    Figura 3.27 (a)
    Figura 3.29 (c)
    Figura 3.28 (b)
  ]
}
...

```

Figura 3.28 - Estrutura do *nodo* que define os botões de controle.

A Figura 3.29 mostra o código do *nodo* Transform, o qual é um *nodo* filho de outro *nodo* Transform. Na implementação, vê-se o `url` que é ativado quando o usuário clica sobre o objeto, enviando um evento do tipo `eventIn`.

```

Transform {
  translation -.75 -.5 0
  children [
    Inline {
      bboxSize 4 4 4
      bboxCenter 5 5 5
      url "../exemplos/pontos.wrl"
    }
  ]
}
...

```

(a)

Figura 3.29 - *Nodo* que define o `url` que será ativado pelos botões de controle.

Implementando dessa forma, é possível não apenas carregar um outro objeto VRML, como também carregar um arquivo HTML. Esse deslocamento entre os tipos de arquivos é interessante, pois, como o ambiente foi implementado em *frames*, o aluno tem condições de obter informações na forma de texto sobre o objeto estudado no momento em que achar melhor. Por exemplo, se o objeto modelado for uma pirâmide, poder-se-á implementar um *link* para deslocar o aluno até um documento que exibe a estrutura de uma cidade do antigo Egito; se o objeto modelado for um prisma, poder-se-á implementar um *link* para permitir que o aluno tenha acesso a textos sobre as teorias das cônicas, e assim por diante.

Vale lembrar que é importante ter nos hipertextos *links* que possibilitem ao aluno retornar ao objeto que estava manipulando antes. Poder-se-á utilizar, para tal ação, os botões *Back* e *Forward* do *browser*. Entretanto, como foi dito anteriormente, o aluno pode escolher a forma de exibição da janela do *browser*. Por isso, é importante e imprescindível implementar tais botões.

Um determinado *nodo* usando um nome através da palavra-chave DEF pode, depois, referenciar esse nome através das USE ou ROUTE. A instrução USE não cria uma cópia do *nodo*; ao contrário, o mesmo *nodo* é inserido no mundo VRML outra vez. Na Figura 3.30, mostra-se o código dos *nodos* TouchSensor e Script.

Para a implementação desses *nodos*, foi utilizada a instrução DEF. O eventIn é executado quando o aluno clica sobre o objeto. Para definir os nomes para a instrução DEF, optou-se por seguir o padrão, isto é, utilizar o sinal “_”.

```

...
DEF BOTAO_TOCAR TouchSensor { }
DEF BOTAO_SCRIPT Script {

    eventIn SFBool ativar
    eventIn SFBool imitar_ancora
    eventIn SFBool exibir_descricao

    field MFString botao_url IS BotaoURL1
    field MFString botao_log IS BotaoLog1
    field SFString botao_descricao IS BotaoDescricao1
    field MFString botao_parametro IS BotaoParametro1
    field SFBool ativado FALSE

...
}
...

```

(Figura 3.29 (c))

(b)

Figura 3.30 - JavaScript que define a função que ativa os botões de controle.

JavaScript é, geralmente, mais fácil de aprender e usar que Java por ser apenas digitado e não requerer compilação do código. *Scripts* simples implementados em JavaScript são, geralmente, menores que os *scripts* equivalentes implementados em Java (o tamanho mínimo de um arquivo Java.class é de, aproximadamente, 200 bytes), sendo possível pôr o código do *script* diretamente nos arquivos VRML. Porém, Java é mais poderoso que JavaScript e pode executar um *script* com muitas linhas de código e muito mais rapidamente do que se fosse implementado em JavaScript. O tipo Mime para o código JavaScript é definido como application/x-javascript [CAR 97b] [VRM 97b] [VRM 99].

O método loadURL() carrega o primeiro URL reconhecido, que é especificado no campo url. Os argumentos parameter e url são tratados exatamente da mesma forma que os campos parameter e url do *nodo* Anchor. O método setDescription() passa um conjunto de caracteres da descrição corrente. A maneira de exibir a mensagem depende do *browser*. A Figura 3.31 exibe o código do javascript implementado para ativar os eventos eventIn.

```

...
url "javascript:
  function ativar(valor)
  {
    if (valor)
      ativado = TRUE;
  }
  function imitar_ancora(valor)
  {
    if (ativado && !valor)
    {
      ativado = FALSE;
      Browser.loadURL(botao_url, botao_parametro);
      Browser.loadURL(botao_log, botao_parametro);
    }
  }
  function exibir_descricao(valor)
  {
    if (valor)
      Browser.setDescription(botao_descricao);
  }
"
...

```

(c)

Figura 3.31 - Definição das funções que ativam os botões de controle.

A Figura 3.32 exibe o código do *nodo* definido pelo *nodo* PROTO com o nome Botao1. Quando o aluno clica sobre o objeto, é carregado o arquivo descrito no *nodo* BotaoURL1, sendo exibida a descrição do objeto através do *nodo* BotaoDescricao1; é registrada a ação do aluno, isto é, o evento que ele executou, no arquivo de *log* pelo *nodo* BotaoLog1.

```

Group {
  children [
    Botao1 {
      BotaoURL1 "../wrl/pontos_texto.wrl"
      BotaoLog1 "http://vitoria.upf.tche.br/~pasqualotti/p_
rototipo/log/registra.cgi?aluno=&url=/~pasqualotti_
/prototipo/exemplos/pontos.wrl&acao= clicou nos po_
ntos"
      BotaoDescricao1 "Exemplos de pontos"
    }
  ]
}

```

Figura 3.32 - Definição dos parâmetros dos botões de controle.

A Figura 3.33 apresenta o mecanismo de registro da ação do aluno no arquivo de *log* quando ele clica sobre um objeto e este, através do método `Browser.loadURL`, ativa um CGI, o qual a registrará no arquivo de *log*.

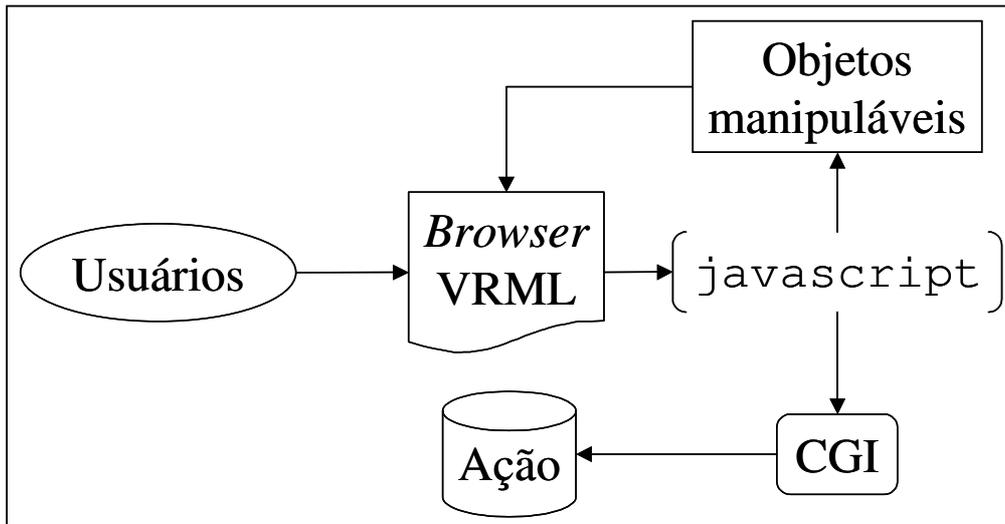


Figura 3.33 - Mecanismo de registro da ação do aluno no arquivo de *log*.

Os objetos implementados neste protótipo permitem interações com o aluno e o seu registro num arquivo de *log*, que é executado quando o aluno clica sobre um objeto.

3.5 Resumo

Neste capítulo, apresentou-se o protótipo de um ambiente de aprendizagem de RV aplicado ao ensino-aprendizagem de matemática. Inicialmente, fizeram-se as considerações iniciais do ambiente; em seguida, apresentaram-se as sessões que compõem o protótipo: “ambiente familiar”, “representações matemáticas” e “avaliação de desempenho do aluno”. Após, fez-se a implementação do ambiente de aprendizagem e do arquivo de *log* e, finalmente, a estrutura proposta para o registro das ações do aluno.

4 Experimentos realizados

Com o desenvolvimento do modelo conceitual e da implementação do protótipo, buscou-se realizar uma aplicação desse com alunos de uma escola, visando coletar dados. Para tanto, foi utilizado o Laboratório Central de Informática (LCI) da Universidade de Passo Fundo (UPF), constituído de 21 computadores tipo IBM PC 300, modelo Pentium, de 166 MHz e 32 MB de RAM. Os computadores estão interligados através de uma rede Novell NetWare[®] 3.1 (Novell, Inc.) versão 3.12 de 250 usuários, rodando em um servidor IBM Pentium de 133 MHz com 98 MB de RAM e 10 GB de disco rígido.

Foram realizados cinco encontros com os alunos; nos dois primeiros, objetivou-se ensinar os alunos a utilizarem os *browsers* VRML e os computadores como ferramenta educacional. A Figura 4.1 mostra fotos da aplicação do protótipo no laboratório da Universidade de Passo Fundo.

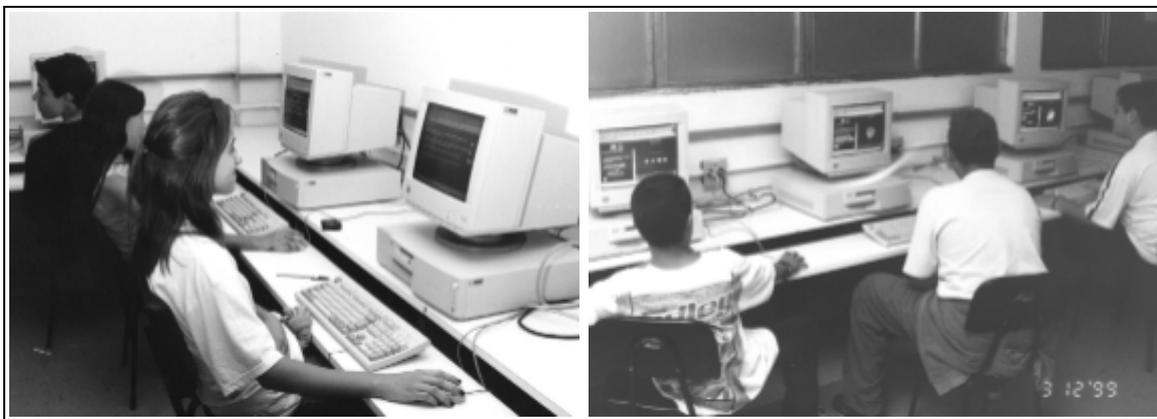


Figura 4.1 - Alunos utilizando o protótipo no laboratório da UPF.

Além dos dados levantados com o uso do protótipo, foi aplicado aos alunos um questionário que continha questões sobre o seu conhecimento acerca da tecnologia de computação (Anexo 2) e por meio do qual buscava-se delinear o tipo de população amostrada. Como nem todos os alunos da escola participaram dos testes com o protótipo, utilizou-se o questionário para analisar tanto o perfil da amostra que participou dos testes e como da que não o fez. Procurou-se determinar se os resultados haviam sido significativos entre as amostras, isto é, analisar se os alunos que participaram dos testes com o protótipo não tiveram nenhum tipo de variável externa a influenciá-los.

Outro tipo de dado com o qual se trabalhou foram as notas que os alunos obtiveram na disciplina de Matemática durante os três trimestres do ano letivo de 1999. Com esse procedimento, buscou-se verificar a homogeneidade ou não dos alunos frente ao conhecimento da disciplina e se o uso do protótipo influenciara nas notas obtidas no terceiro trimestre, uma vez que a aplicação do protótipo coincidiu com esse.

Os dados analisados foram divididos em dois tipos: os dados levantados pelo uso do protótipo e os levantados através do questionário, além das notas nos trimestres. Em relação aos dados levantados pelo uso do protótipo, destacam-se:

- a) resultado das respostas de dez questões sobre o conteúdo abordado;
- b) palavras digitadas pelos alunos segundo um critério de escolha;
- c) tempo de acesso no mundo virtual;
- d) escolhas da forma de exibição da janela do *browser*.

4.1 Tema e problema da pesquisa

A aplicação da tecnologia de RV na educação tem concentrado os estudos de vários centros de pesquisa. Na visão de vários teóricos, como foi visto no capítulo dois, a RV proporciona uma aprendizagem de uma maneira sem igual. Há, entretanto, ainda muita poucas pesquisas que levantem dados para avaliar o desempenho dos AVs. Essas, para atingir bons resultados, terão, obrigatoriamente, de avaliar os seus modelos, quebrando paradigmas e assumindo a responsabilidade de uma ininterrupta evolução qualitativa e quantitativa na forma de desenvolver os ambientes.

A nova necessidade competitiva mundial traz à tona o debate sobre o que ensinar em sala de aula e como fazê-lo. Cada vez mais, os alunos aprendem menos e os professores simplesmente repassam conteúdos ao invés de proporcionarem uma aprendizagem pela pesquisa e pela construção do conhecimento.

A publicação, pelo MEC, dos conceitos obtidos pelos cursos das universidades acirra as discussões em torno desse aspecto e da qualidade do ensino. Nesse sentido, entende-se que as condições de aprendizagem no ensino fundamental refletem-se no ensino médio e no ensino superior.

Para debater os resultados de um sistema implementado para aplicação em educação, torna-se, pois, necessário conhecer e discutir o seu funcionamento, tornando o desenvolvimento do protótipo e a aplicação como focos de pesquisa específica.

4.2 Justificativa teórica e prática

Como este trabalho tem como enfoque teórico realizar uma análise do desempenho dos alunos frente a um conteúdo de geometria, foi implementado um protótipo de um AV modelado em VRML.

Dentro da área computacional, buscou-se desenvolver o protótipo utilizando recursos computacionais disponíveis nas escolas, para que, após a pesquisa inicial, se houvesse interesse, ele pudesse ser aplicado. Em relação ao enfoque educacional da pesquisa, buscou-se conhecer o desempenho que os alunos do ensino fundamental poderiam obter com a aplicação do AV.

Além disso, pelos levantamentos realizados até o presente momento, poucas pesquisas têm contemplado um estudo que aborde aspectos de desempenho de AV modelados em VRML para o ensino-aprendizagem de matemática, em especial de geometria, através de uma metodologia quantitativa.

Em termos práticos, os resultados da pesquisa podem oferecer elementos e subsídios para a compreensão da aplicação de recursos computacionais, em especial os AVs não-imersivos na sala de aula.

4.3 Metodologia

A formulação da presente metodologia permite compreender os passos dos métodos e técnicas utilizados para a execução da pesquisa, que buscou contemplar os seguintes objetivos:

- a) elaborar um modelo conceitual para um AV não-imersivo para uso na educação;
- b) implementar o protótipo do sistema não-imersivo para o uso na educação de matemática;
- c) estudar as possibilidades do uso de sistemas de RV não-imersivos no processo de ensino-aprendizagem de matemática, em especial nos conteúdos de geometria;
- d) desenvolver alternativas de aprendizagem, de produção e organização de conhecimento, de resolução de problemas e de desenvolvimento da linguagem verbal-escrita de matemática para estudantes do ensino fundamental, utilizando AVs não-imersivos;
- e) analisar os resultados obtidos com o uso do protótipo.

Esta pesquisa é descritiva, do tipo exploratória, caracterizando-se pelo estudo de caso, através da aplicação do protótipo em uma amostra para identificar e analisar o desempenho dos alunos a respeito da aprendizagem do conteúdo de geometria. O estudo teve como população-alvo os alunos da 7ª série de uma escola particular, Escola Menino Jesus da cidade de Passo Fundo/RS. Salienta-se que o estudo inclui também os alunos da disciplina de Introdução à Informática do curso de Ciência - Licenciatura Plena da UPF, que compartilharam as experiências do uso de AVs não-imersivos em sala de aula. A Figura 4.2 mostra fotos da aplicação do protótipo.



Figura 4.2 - Alunos do curso de Ciências utilizando o protótipo.

Os dados da população pesquisada referem-se ao mês de novembro de 1999, quando, conforme os registros oficiais obtidos junto à secretaria da escola, abrangia 44 alunos. Para a tabulação dos dados, foi utilizada a planilha de cálculo Microsoft® Excel 97 e, para analisá-los estatisticamente, o *software* Statistica 5.0 (StatSoft, Inc.).

As Figuras 4.3 e 4.4 são gráficos que apresentam, respectivamente, a porcentagem de acessos, por nome, que foram registrados no arquivo de *log* e a porcentagem de acessos válidos que puderam ser analisados estatisticamente.

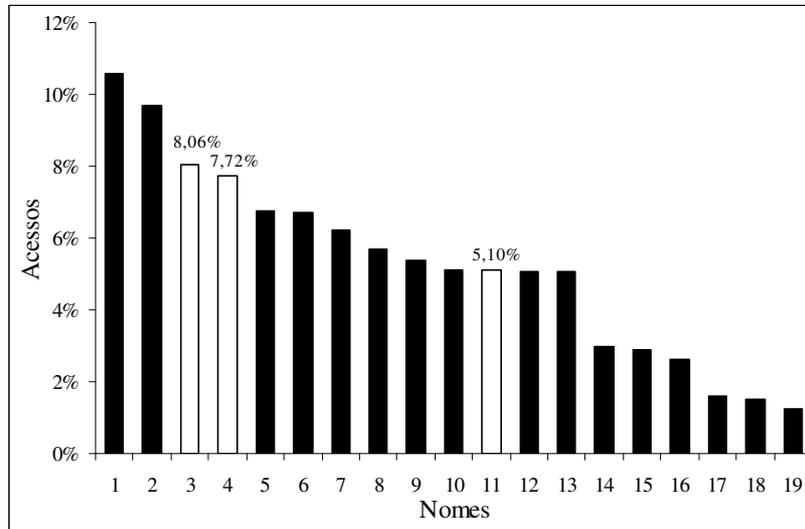


Figura 4.3 - Porcentagem de acesso por nome de aluno.

Utilizaram-se algarismos para representar a categoria “Nomes” na Figura 4.4 a fim de preservar os nomes reais dos alunos. Nesse gráfico, pode-se ver que a interação dos alunos não segue uma ordem, ou seja, eles interagem com o AV de uma forma totalmente aleatória: alguns (nomes 1 e 2) interagiram de uma forma relativamente alta com o ambiente, ao passo que outros mantiveram uma interação baixa (nomes 14 a 19).

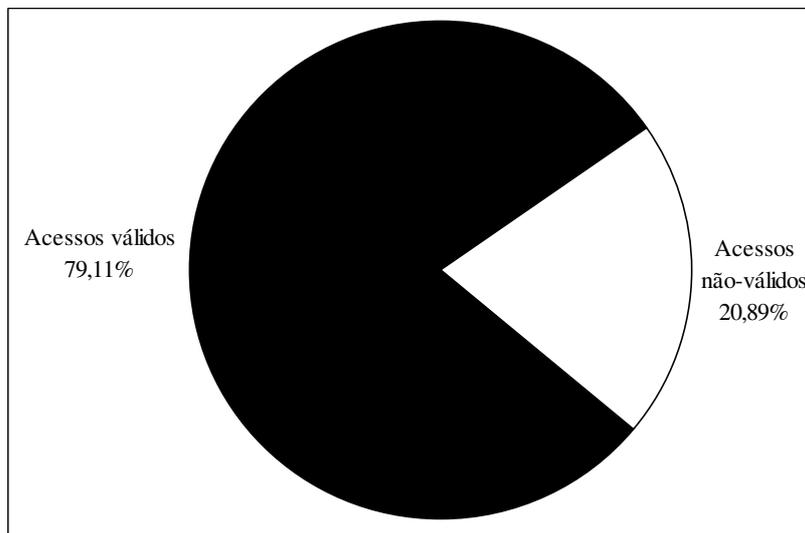


Figura 4.4 - Porcentagem de acessos válidos e não-válidos no arquivo de *log*.

Os acessos válidos corresponderam a 79,11% dos registros (4015 registros) e os não-válidos, a 20,89% (1060 registros), perfazendo um total de 5075 registros. Consideraram-se acessos válidos aqueles que apresentaram valores superiores a 1% do total dos acessos.

O total dos acessos não-válidos corresponde à soma daqueles que obtiveram menos de 1% de acessos (8,06%), mais a quantidade de acessos onde o campo “Nome” do arquivo de *log* estava *null* (7,72%), ou estava em branco (5,10%).

Em relação aos 62 nomes diferentes de alunos que participaram dos testes do protótipo, apenas 16 foram considerados; os outros 46 não foram considerados por terem uma porcentagem inferior a 1% do total de acessos, ou o nome estava em branco ou *null* no arquivo de *log*. Entretanto, mesmo sendo considerados apenas 16 nomes para as análises estatísticas, eles correspondem a 79,11% dos acessos.

Para as análises de dados, foram utilizadas medidas descritivas: qui-quadrado, para testar os escores médios da escala de situação nos diferentes estratos de alunos; análise fatorial, para testar a atração ou dispersão de características das variáveis, e análise de correlação, para avaliar a associação entre as variáveis.

O presente estudo, por se tratar de uma pesquisa descritiva, do tipo exploratória, de estudo de caso, limita-se à Escola Menino Jesus. Igualmente, restringe-se a uma análise em nível experimental do uso de um protótipo sobre um conteúdo específico de geometria em sala de aula. O levantamento limita-se aos alunos integrantes da 7ª série da escola, não incluindo os demais públicos acadêmicos, como professores e outros alunos.

5 Análise e interpretação dos resultados

Neste capítulo, apresentam-se os resultados dos dados pesquisados e as interpretações das análises. Inicialmente, descrevem-se as informações referentes aos dados obtidos com o uso de um “instrumento de coleta de dados” (questionário), de uma amostra de 42 alunos; na segunda parte, abordam-se a análise descritiva, a análise de correlação, os testes de hipóteses e a análise fatorial da distribuição das variáveis.

5.1 Análise do instrumento de coleta de dados

Nas tabelas e figuras em seqüência, apresentam-se os resultados das análises dos dados coletados através do questionário junto aos alunos da escola particular e do curso de Ciências, tais como: sexo, se trabalham ou não com o computador, se têm computador, se têm internet, que tipo de uso faz da internet e se tem algum conhecimento sobre a linguagem VRML.

Em todas as tabelas, a categoria “alunos” foi dividida em duas subcategorias: “alunos participantes” e “alunos não-participantes”. Por “alunos participantes” entendem-se aqueles que, além de responderem ao instrumento de coleta de dados, também participaram dos testes de validação do protótipo.

Um valor nas tabelas em seqüência, o qual aparece seguido de um valor entre parênteses, indica que algumas questões não foram respondidas. Conseqüentemente, para avaliar o total da tabela, devem-se levar em conta esses valores.

A análise descritiva utilizada neste trabalho apresenta os resultados da mediana, dos percentis 25% e 75% e dos valores máximo e mínimo obtidos em cada uma das variáveis estudadas. Pela análise, é possível perceber se há ou não uma tendência nos resultados, isto é, se mostrou evidência de associação na população em estudo.

A Tabela 5.1 apresenta os dados referentes à variável “sexo” dos alunos que compõem a amostra estudada; usando um nível de significância de 5% ($\alpha=0,05$), o teste do qui-quadrado apresentou um valor crítico de 3,394. Conclui-se que os dados não mostram evidência de associação na população em estudo. Em outras palavras, a diferença verificada na amostra entre a proporção de alunas participantes da pesquisa e a de alunos participantes pode ser explicada por variações casuais.

Tabela 5.1 - Distribuição dos alunos por sexo.

Sexo	Alunos participantes	Alunos não-participantes
Feminino	5	10
Masculino	17	10

Fonte: Primária.

Mostra-se, na Figura 5.1, que a mediana da idade dos alunos é de 13 anos. Tanto para os que participaram da validação do protótipo como para os que não participaram, a idade mais central (percentis 25% e 75%) encontra-se na faixa etária de 12 a 13 anos.

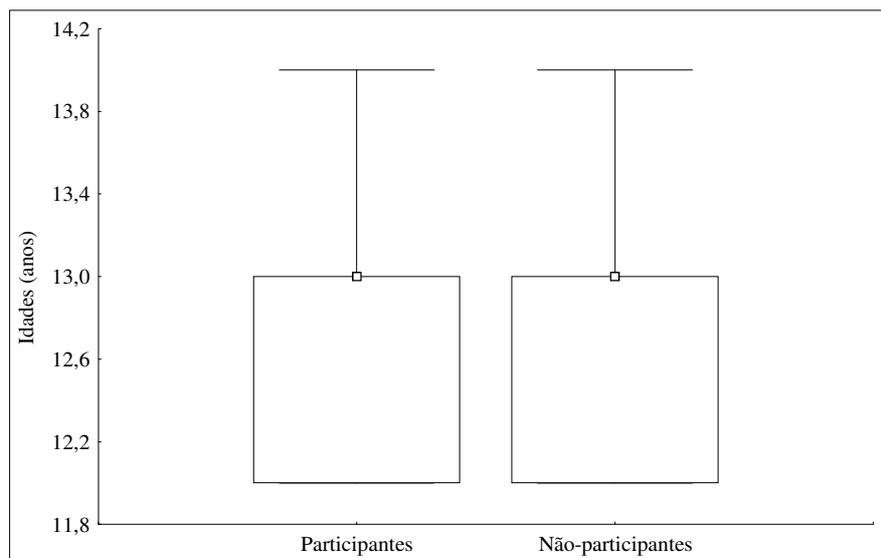


Figura 5.1 - Distribuições da idade dos alunos em relação à categoria aluno.

Na Tabela 5.2, apresentam-se os dados dos alunos por sexo que trabalham com computador, os quais não mostram nenhuma evidência de associação. Isso se deve, basicamente, ao fato de se tratar de alunos de uma escola particular, que abrange uma clientela de padrão aquisitivo de médio a alto. Conseqüentemente, o acesso aos computadores é praticamente total entre a população.

Tabela 5.2 - Distribuição dos alunos por sexo que trabalham com computador.

Sexo	Alunos participantes		Alunos não-participantes	
	Sim	Não	Sim	Não
Feminino	3	2	9	1
Masculino	15	2	10	-

Fonte: Primária.

A Tabela 5.3 apresenta os dados referentes ao local onde, segundo a opinião dos alunos, trabalham com o computador. Constata-se que a distribuição está concentrada em casa, tanto para os alunos que participaram da avaliação do protótipo quanto para aqueles que não participaram.

Tabela 5.3 - Distribuição dos alunos que trabalham com computador por local.

Local onde trabalha com o computador	Alunos participantes	Alunos não-participantes
	Na escola	-
Em casa	12	11
No local de trabalho dos pais	3	1
Em um outro local	1	-
Na escola e no local de trabalho dos pais	-	1
Em casa e no local de trabalho dos pais	-	3
Em casa e em um outro local	1	1
Nulo	1	-

Fonte: Primária.

Na Tabela 5.4, apresentam-se os dados dos alunos, por sexo, que têm computador, os quais não mostram evidência de associação na população em estudo. Em outras palavras, a diferença verificada pode ser explicada por variações casuais.

Tabela 5.4 - Distribuição dos alunos, por sexo, que têm computador.

Sexo	Alunos participantes		Alunos não-participantes	
	Sim	Não	Sim	Não
Feminino	2	3	5	5
Masculino	15	2	9	1

Fonte: Primária.

Na Tabela 5.5, apresentam-se os dados dos alunos, por sexo, que têm internet. Constata-se que a distribuição está concentrada na categoria “masculino”, tanto para os que participaram da validação do protótipo como para os que não participaram. Entretanto, novamente, não foi detectada uma diferença significativa na população em estudo.

Tabela 5.5 - Distribuição dos alunos, por sexo, que têm internet.

Sexo	Alunos participantes		Alunos não-participantes	
	Sim	Não	Sim	Não
Feminino	2	-	4	2
Masculino	7	8	5	3

Fonte: Primária.

Na Tabela 5.6, apresentam-se os dados dos alunos, por sexo, que têm computador e internet; usando um nível de significância de 5% ($\alpha=0,05$), o teste do qui-quadrado apresentou um valor crítico de 0,002. Conclui-se, pois, que os dados não mostram evidência de associação na população em estudo.

Tabela 5.6 - Distribuição dos alunos que têm computador e internet.

Alunos	Sim	Não
Alunos participantes	9	7
Alunos não-participantes	8	6

Fonte: Primária.

Na Tabela 5.7, apresentam-se os dados dos alunos que têm internet e a sua utilização. Constata-se que a distribuição não está concentrada em nenhuma das

categorias em estudo, tanto para os que participaram da validação do protótipo como para os que não participaram.

Tabela 5.7 - Distribuição dos alunos que têm internet por utilização dada.

Utilização da internet	Alunos	
	participantes	não-participantes
Para se divertir	-	4
Para conhecer pessoas	2	-
Para se divertir e estudar	2	1
Para se divertir e conhecer pessoas	-	1
Para se divertir, estudar e conhecer pessoas	5	2

Fonte: Primária.

Na Tabela 5.8, apresentam-se os dados dos alunos que têm algum conhecimento sobre VRML; usando um nível de significância de 5% ($\alpha=0,05$), o teste do qui-quadrado apresentou um valor crítico de 0,024. Conclui-se que os dados não mostram evidência de associação na população em estudo. Em outras palavras, a diferença verificada na amostra pode ser explicada por variações casuais. Um ponto interessante sobre esses dados é o alto número de pessoas que não têm nenhum conhecimento sobre VRML, o que leva à conclusão de que a linguagem, para que possa ser usada em aplicações na educação, precisa ser mais discutida e analisada.

Tabela 5.8 - Distribuição dos alunos que têm algum conhecimento sobre VRML.

Conhecimento sobre VRML	Alunos	
	participantes	não-participantes
Sim	2	2
Não	20	17

Fonte: Primária.

Na Tabela 5.9, apresentam-se os dados dos alunos que têm internet e conhecimento sobre VRML. Constata-se que a distribuição dos alunos que têm algum conhecimento sobre a linguagem não está concentrada em nenhuma das categorias de “utilização da internet”.

Tabela 5.9 - Distribuição dos alunos que têm internet e conhecimento sobre VRML.

Utilização da internet	Alunos participantes		Alunos não-participantes	
	Sim	Não	Sim	Não
	Para se divertir	-	-	1
Para conhecer pessoas	1	1	-	-
Para se divertir e estudar	-	2	-	1
Para se divertir e conhecer pessoas	-	-	-	1
Para se divertir, estudar e conhecer pessoas	1	4	1	1

Fonte: Primária.

Na Tabela 5.10, apresentam-se os dados coletados junto aos alunos do curso de Ciências. Optou-se por agrupar os dados em uma única tabela, por serem os mais significativos de todos os coletados junto aos alunos do curso. Um ponto interessante é o número de alunos que têm computador e internet, inferindo-se que aqueles que possuem um padrão aquisitivo de médio a alto optam em estar o mais “próximo” possível dessas tecnologias, possivelmente porque elas, por algum motivo, poderão beneficiá-los nas suas atividades profissionais.

Tabela 5.10 - Resultados das respostas dadas pelos alunos do curso de Ciências.

Perguntas	Respostas	
	Sim	Não
Tem computador	7	15
Tem internet	7	15
Conhece VRML	2 (1)	19

Fonte: Primária.

Sobre os dados coletados através do instrumento de coleta, constata-se que, para se ter uma análise de todo o processo de uso de computador, é preciso ampliar o número de questões, pois nenhum dos alunos mostrou evidência de associação na população em estudo.

5.2 Análise descritiva

Nas figuras em seqüência, apresentam-se os resultados das análises dos testes de validação do protótipo coletados através do arquivo de *log* junto aos alunos da escola particular, tais como: tipo de cabeçalho escolhido para o *browser* HTML, ações dos alunos em relação aos objetos modelados, respostas efetuadas nos exercícios propostos, além das notas que os alunos obtiveram na disciplina de Matemática nos três trimestres do ano de 1999.

Mostra-se, na Figura 5.2, que a mediana da escolha dos tipos de cabeçalhos encontra-se na faixa entre 8 e 12. Entende-se como cabeçalho tipo I aquele onde todas as barras do *browser* são exibidas e o tipo II aquele onde o aluno opta por ocultar algumas delas. Mesmo que a maioria dos alunos tenha optado em ocultar as barras, mediana 12, os dados não mostraram evidência de associação na população em estudo, do que se conclui que as barras não influenciam na visualização do mundo de VRML.

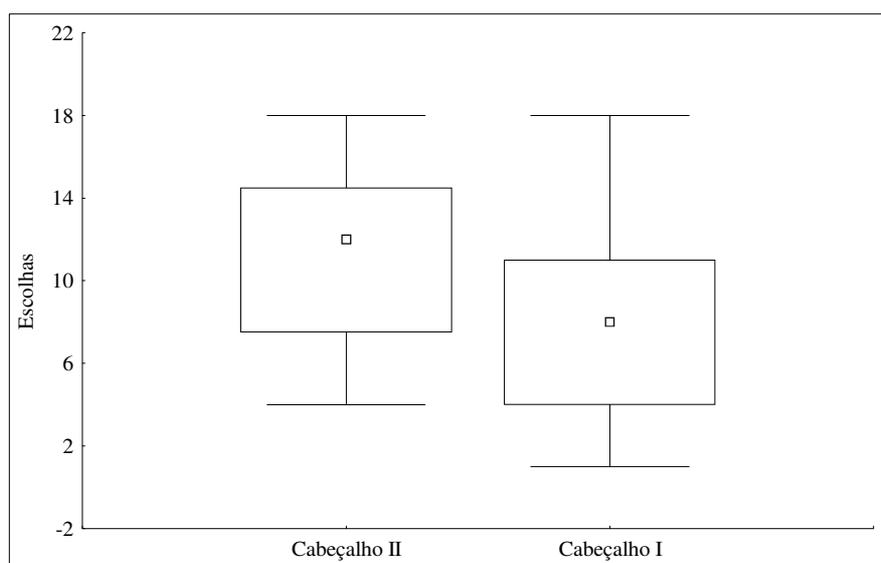


Figura 5.2 - Distribuições do número de escolhas em relação ao tipo de cabeçalho.

Mostra-se, na Figura 5.3, as ações dos alunos em relação aos objetos. Entendem-se como ações aquilo que os alunos poderiam realizar com os objetos no AV. Percebe-se que um número muito pequeno de alunos optou por construir o objeto e que a maioria deles utilizou o comando “Exibir” para visualizar os objetos já construídos no mundo de VRML. Os dados mostraram que a ação de “construir” objetos não empolga os alunos, isto é, há evidências indicando que implementar comandos que permitem aos alunos construírem os seus próprios objetos não é algo fundamental nos AVs.

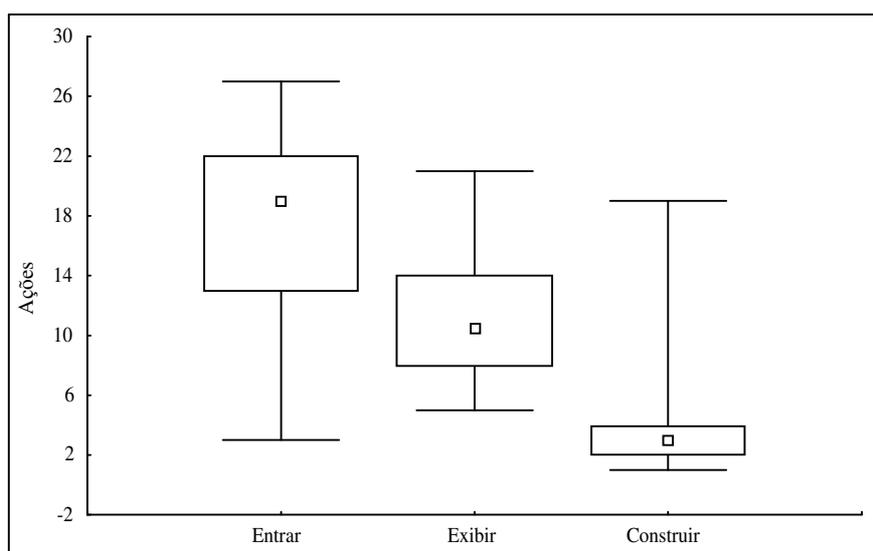


Figura 5.3 - Distribuições do número de ações em relação ao tipo de ações.

Mostra-se, na Figura 5.4, as distribuições das respostas efetuadas em relação aos exercícios. Somente o “Exerc. 1” obteve um grande número de respostas (valor máximo 25), o que se deve, provavelmente, a ter sido o primeiro exercício a que os alunos

responderam no AV. Porém, isso não ocorre nos demais, nos quais o número central de respostas (percentis 25% e 75%) encontra-se na faixa entre 1 a 6. Isso pode se dever ao fato de os alunos já estarem habituados a responder a exercícios utilizando formulário eletrônico implementado com objetos do tipo `checkbox`, os quais permitem que mais de uma opção possa ser marcada.

Percebeu-se que, durante o preenchimento do formulário, alguns dos alunos não tinham noção do que deveriam fazer para responder à questão. Assim, a técnica utilizada por eles para compreenderem o mecanismo foi a “tentativa e erro”, visto que o sistema proporcionava-lhes um *feedback* imediato em relação ao seu desempenho, ou seja, se não haviam “gostado” do seu desempenho, podiam responder novamente às questões. Isso fica evidente nos exercícios 2 a 10, nos quais o valor máximo de tentativas efetuadas é de 10.

Pelos resultados dos exercícios, pode-se concluir que os alunos obtiveram uma excelente aprendizagem em relação ao conteúdo abordado, pois a mediana encontra-se na faixa entre 1 a 3.

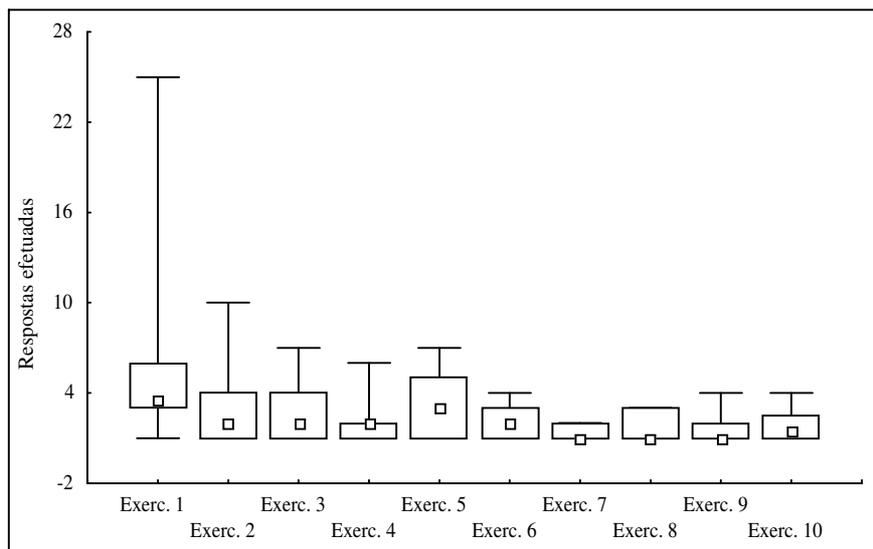


Figura 5.4 - Distribuições das respostas efetuadas em relação aos exercícios.

Mostra-se, na Figura 5.5, a distribuição das notas nos trimestres dos alunos que participaram dos testes de validação do protótipo. Percebe-se que, em todos os trimestres, a turma é muito homogênea, uma vez que 50% das notas encontram-se na faixa entre 6 e 8 (percentis 25% e 75%).

Um fato interessante é o valor mínimo das notas obtidas no terceiro trimestre, o qual é bem maior se comparado com os demais. Contudo, não é possível determinar se isso se deveu à aprendizagem que os alunos obtiveram através da utilização do protótipo.

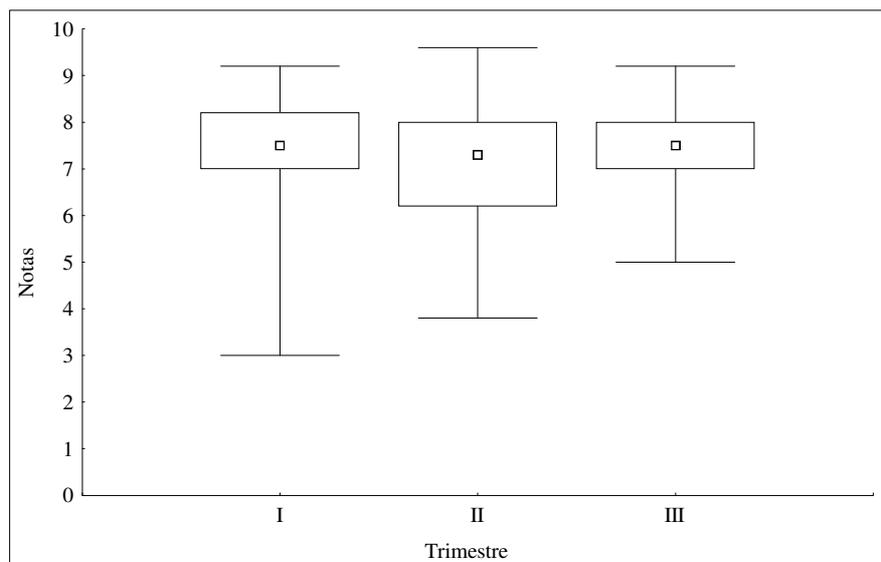


Figura 5.5 - Distribuição das notas nos trimestres em relação aos alunos.

Sobre os resultados da análise descritiva, percebe-se que os alunos que participaram da validação do protótipo eram extremamente homogêneos em relação aos seus conhecimentos e, também, em relação ao desempenho junto ao protótipo, o que se evidencia no fato de terem se comportado de uma forma muito parecida ao responderem a uma questão. Isso pode ter ocorrido em razão de o conteúdo abordado ser de uma área específica de matemática. Por isso, para poder concluir que AVs implementados com VRML proporcionam uma aprendizagem sem igual, é necessário abordar, nesses ambientes, outros conteúdos de matemática e também de outras áreas de conhecimento.

5.3 Análise da correlação

Foram efetuados testes estatísticos de correlação para verificar se havia associação entre variáveis. Em caso de correlação, as variáveis podem caminhar num mesmo sentido, quando positivas, ou caminhar em sentidos opostos, quando correlacionadas negativamente [BAR 98].

No estudo da correlação das variáveis “tipo de cabeçalho” e “dia da semana” (Tabela 5.11 e Figura 5.6), “ações” realizadas (Tabela 5.12 e Figura 5.7) e entre o “desempenho no protótipo” e as “notas de Matemática” (Tabela 5.13 e Figura 5.8), não se confirmou a existência de correlação positiva ou negativa entre as variáveis enunciadas.

Na Tabela 5.11 e na Figura 5.6, apresenta-se a correlação entre o tipo de cabeçalho e o dia da semana, podendo-se concluir que não há correlação entre as variáveis (valor $>0,50$ ou $<-0,50$). Isso significa que os alunos não levaram em conta a forma como o *browser* estava sendo exibido, pois, em caso contrário, provavelmente haveria correlação entre a escolha do tipo de cabeçalho do dia 29 de novembro com as escolhas dos outros dias.

Tabela 5.11 - Correlação entre o tipo de cabeçalho e o dia.

	29/11/99	30/11/99	02/12/99
29/11/99	-	0,31	-0,02
30/11/99	0,31	-	0,10
02/12/99	-0,02	0,10	-

Fonte: Primária.

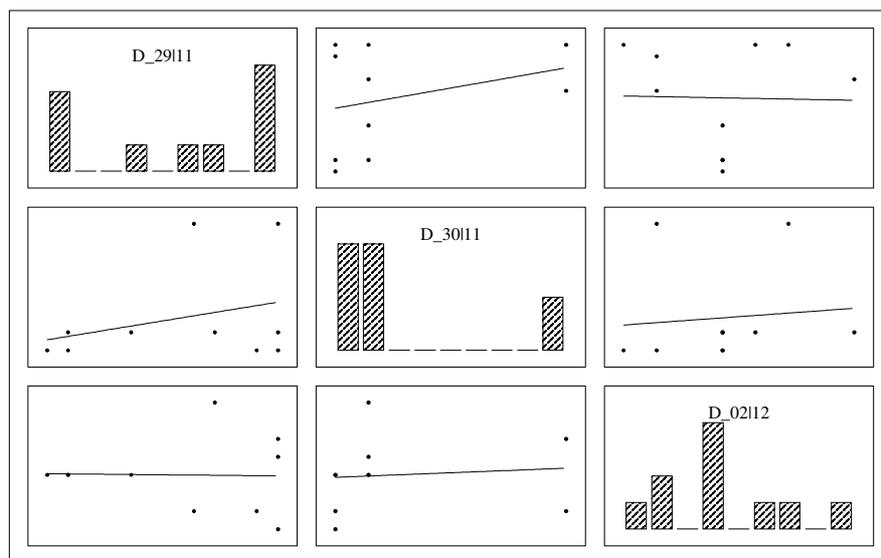


Figura 5.6 - Correlação entre o número de escolha do tipo de cabeçalho e o dia.

Na Tabela 5.12 e na Figura 5.7, apresenta-se a correlação entre as ações realizadas pelos alunos em relação aos objetos modelados no AV. Há evidências que mostram que os alunos, ao entrarem na página do *site* que continha os comandos implementados, os quais lhes permitiam construir os seus próprios objetos, realmente os construíram, mesmo sendo a correlação muito fraca (valor = 0,49). Por outro lado, não ocorreu correlação entre as ações “Exibir” e “Construir”, o que indica que os alunos não utilizaram a técnica do “exemplo”, isto é, eles não optaram por olhar o exemplo de um objeto já construído através do comando “Exibir”; ao contrário, eles procuraram construir os seus objetos sem se basear em um já modelado.

Tabela 5.12 - Correlação entre as ações.

	Entrar	Exibir	Construir
Entrar	-	0,36	0,49
Exibir	0,36	-	0,24
Construir	0,49	0,24	-

Fonte: Primária.

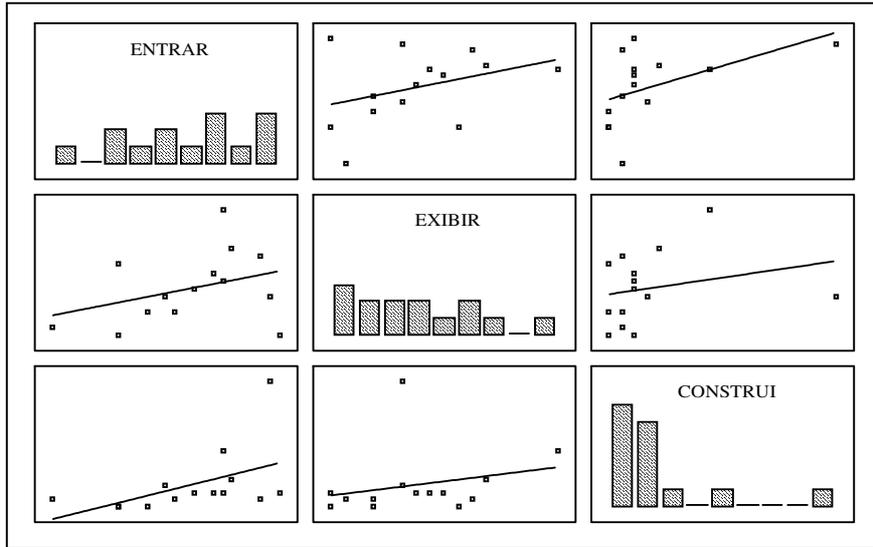


Figura 5.7 - Correlação entre as ações na exibição ou construção das figuras.

Na Tabela 5.13 e na Figura 5.8, apresenta-se a correlação entre o desempenho com o uso do protótipo e as notas de Matemática. Um fato interessante sobre o resultado refere-se à correlação entre o desempenho e as notas do terceiro trimestres: como não há correlação entre as variáveis, pode-se afirmar que a utilização do protótipo não desenvolveu nos alunos mecanismos que lhes permitissem uma aprendizagem satisfatória dos outros conteúdos abordados na disciplina de Matemática nesse semestre.

Tabela 5.13 - Correlação entre o desempenho e as notas de Matemática.

Trimestres	Desempenho com o protótipo
I	-0,34
II	-0,48
III	-0,39

Fonte: Primária.

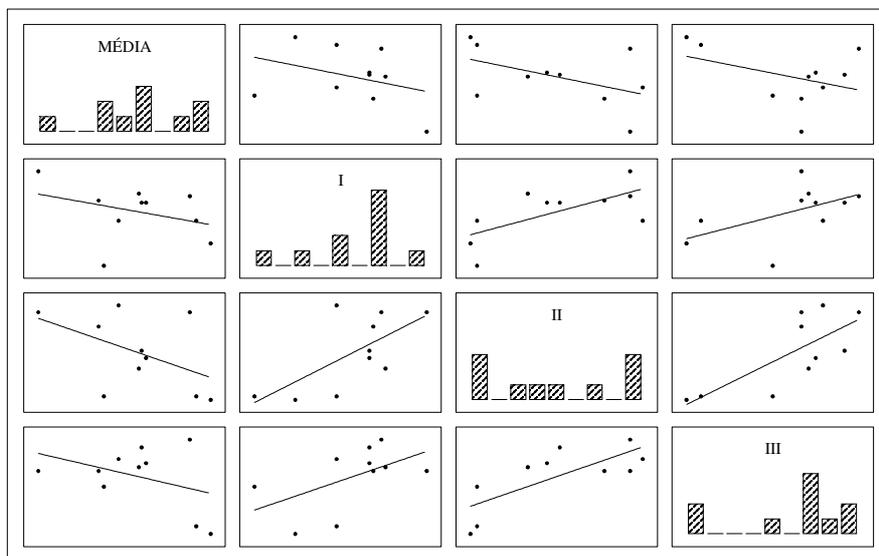


Figura 5.8 - Correlação entre a nota obtida com o protótipo e a nota nos trimestres.

A Figura 5.9 apresenta a distribuição do escore da escolha do cabeçalho tipo I em relação ao tipo II, sugerindo que o aluno testa os dois tipos para, possivelmente, verificar a forma como o *browser* é exibido (com ou sem as barras), porém ele tende a escolher um e ficar com esse durante todo o processo de navegação.

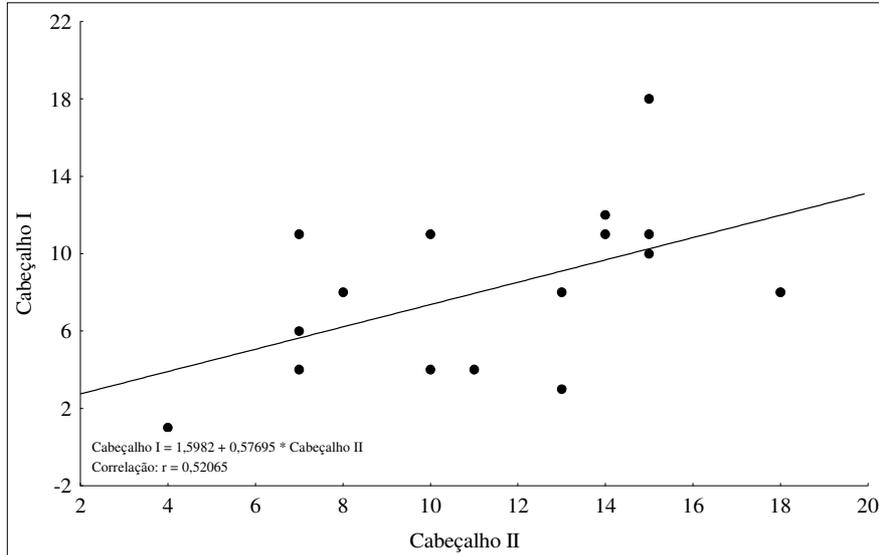


Figura 5.9 - Escore do cabeçalho tipo I em relação ao cabeçalho tipo II.

Mostra-se, na Figura 5.10, a distribuição do escore do número de acertos nas respostas dadas em relação ao tempo que o aluno levou para responder à questão. Um fato importante refere-se ao número de acertos ocorridos, pois, como eles são mais de 10, pode-se afirmar que o aluno respondeu mais de uma vez à mesma questão. Outro dado interessante refere-se ao “Aluno 7”, que respondeu a todas as questões uma única vez, de uma forma correta e com o menor tempo. Os demais obtiveram resultados completamente heterogêneos, isto é, alguns acertaram poucas questões e com um alto tempo de tentativa; outros, ao contrário, levaram um tempo razoável para responder à questão, mas sempre encontraram a resposta.

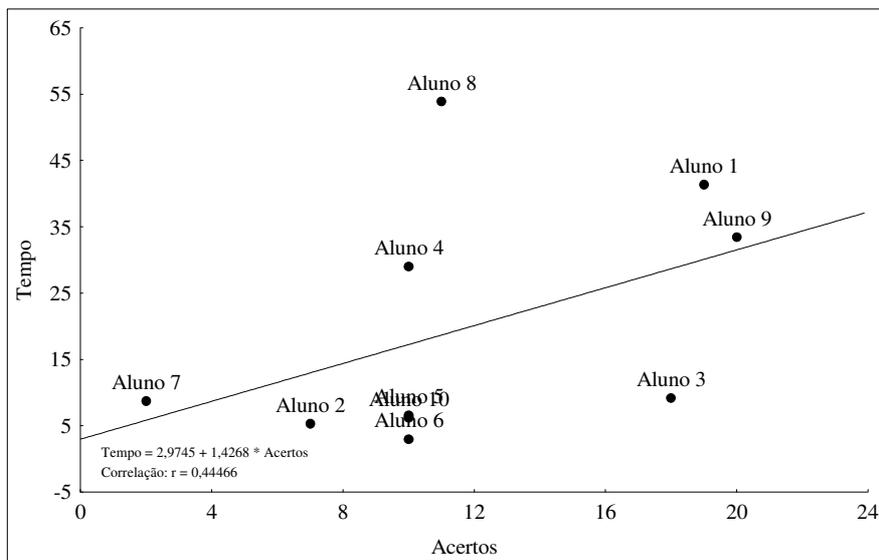


Figura 5.10 - Escore do tempo de solução em relação ao número de acertos.

Sobre os resultados da análise da correlação, percebe-se que, com as variáveis estudadas, não se obteve nenhum índice de correlação expressivo, isto é, um valor que mostrasse uma forte relação entre as variáveis. Isso se deve, provavelmente, ao fato de se ter trabalhado com poucas variáveis quantitativas. Seria, pois, necessária uma maior abrangência das variáveis coletadas através do arquivo de *log*, como, por exemplo, o “tempo de ociosidade” (tempo no qual o aluno não realizou nenhuma ação no ambiente) e o “tempo de resposta individual” (diferença entre o tempo que o aluno levou para ler o conteúdo abordado e para responder a uma questão).

5.4 Análise fatorial

A análise fatorial compreende uma técnica estatística que busca demonstrar as intercorrelações (covariância) entre as variáveis, ou seja, que elas se relacionam entre si, pois possuem uma causa comum que produz tal associação, como também as variáveis que estão dispersas, não assumindo nenhuma atração entre si [PAS 97].

A Figura 5.11 expressa a distribuição da escolha do tipo de cabeçalho referente ao dia, a qual aponta que os alunos se comportaram de uma maneira diferente em relação aos dias. Os dados mostram que, no dia 2 de novembro (primeiro dia em que eles estavam testando o protótipo), a escolha do tipo de cabeçalho foi extremamente diferente em relação aos dias 29 e 30 do mesmo mês. Isso sugere que os alunos, no primeiro dia de teste do protótipo, mudaram algumas vezes as formas de exibição da barras do *browser*; já, nos demais dias, essas modificações não foram realizadas tanto quanto no primeiro dia, provavelmente porque eles já tinham escolhido a forma de exibição.

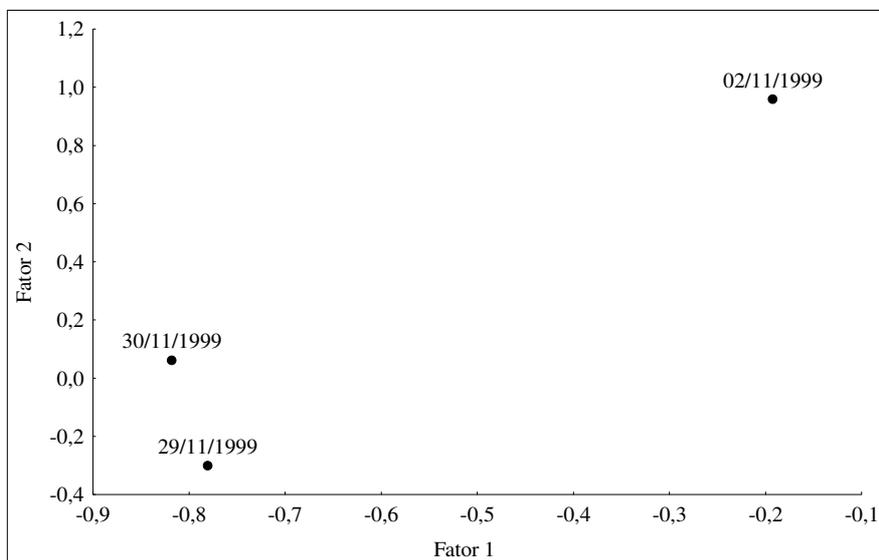


Figura 5.11 - Distribuição da escolha do tipo de cabeçalho referente ao dia.

Mostra-se, na Figura 5.12, a distribuição do tempo de acesso referente ao número de acessos realizados pelos alunos no *site*. Há evidências de que, realmente, no primeiro dia dos testes, os alunos se comportaram de uma forma diferente em relação aos demais. Nesse dia, o acesso ao AV e, conseqüentemente, o registro no arquivo de *log*, ocorreu muitas vezes, isto é, os alunos, durante todo o momento da navegação, ou estavam se conectando ou se desconectando do ambiente.

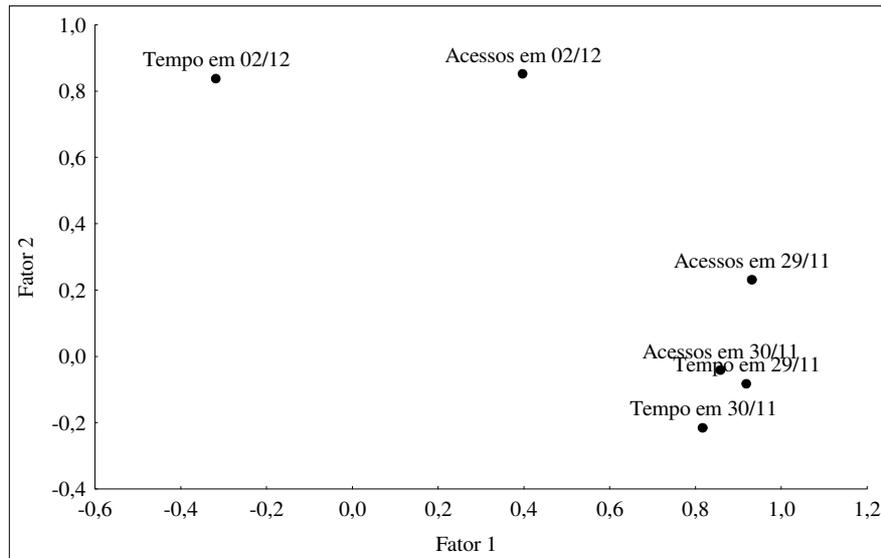


Figura 5.12 - Distribuição do tempo de acesso referente ao número de acessos.

Sobre os resultados da análise fatorial, o que se pode concluir é que a maioria das variáveis estudadas não apresentou nenhum ponto de atração entre si, isto é, a maioria delas se mostraram de uma forma dispersa, não exercendo nenhuma atração entre si. As únicas variáveis em que a atração ocorreu foram apresentadas nas Figuras 5.11 e 5.12, o que pode ser explicado pela forma como os alunos interagiram com o ambiente, isto é, a maioria se comportava na mesma forma, ocasionando, assim, sempre o mesmo resultado.

5.5 Resumo

Neste capítulo, apresentaram-se os resultados dos dados pesquisados e as interpretações das análises. Inicialmente, descreveram-se as informações referentes aos dados obtidos com o uso de um questionário; em seguida, abordaram-se a análise descritiva, a análise de correlação, os testes de hipóteses e a análise fatorial da distribuição das variáveis, retratando os resultados obtidos nas análises.

6 Conclusões

O desenvolvimento do conhecimento encontra uma expressão importante nos AVs, os quais são um importante apoio ao processo de aprendizagem, desde que elaborados com qualidade, que consiste, sobretudo, em não insinuar uma expectativa “oca” de receitas prontas e reproduções sistemáticas. Se bem feitos, os AVs podem instigar o “aprender-a-aprender” e o saber pensar na medida em que exigem raciocínio para que se possa manipulá-los.

É um consenso geral entre os pesquisadores que a exploração de mundos virtuais com ferramentas e tecnologias adequadas é uma experiência significativa para todos os envolvidos. Contudo, mais importante que a exploração é a possível demonstração que os estudantes terão ao usar RV para construir expressões de seus conhecimentos e de suas imaginações.

À medida que mais pesquisas sobre o uso de AVs implementados com VRML forem desenvolvidas e analisados os seus resultados, um círculo global de sistemas poderá se desenvolver. Utilizando VRML e a internet como veículos para se obter os dados desses ambientes e quando a interatividade dos mundos tornar-se mais acessível, poderá se desenvolver um sistema globalmente integrado e simbiótico para o melhoramento da educação, da consciência pública e da pesquisa interdisciplinar.

Os AVs compartilhados ainda não são muitos usados na internet. Sistemas modelados em VRML tornam possível uma grande variedade de aplicações, com várias interações entre o usuário e o mundo. Entretanto, para que o AV possa ser amplamente utilizado, o seu desempenho ao ser carregado por um *browser* deverá ser alto. Não importa o quanto realista é o ambiente, pois o usuário deixará de usá-lo se ele demorar muito para ser carregado.

Para que haja aprendizagem de matemática através de AVs modelados em VRML, não é preciso que os estudantes demonstrem uma compreensão de conceitos complexos. Eles não necessitam conhecer os conceitos dos objetos gráficos modelados no computador (plano cartesiano, coordenada espacial, atributos de objeto), ou sobre as técnicas de modelagem tridimensional. Entretanto, precisam conhecer os comportamentos dos objetos modelados em RV não-imersiva (o que é preciso fazer para interagir e manipular os objetos modelados no ambiente) e sobre os dispositivos de interface; também necessitam aprender sobre a forma de organizar os dados nesses ambientes.

Ao utilizar o protótipo, percebeu-se que os AVs não-imersivos fornecem experiências de primeira-pessoa não-simbólicas, os quais, especificamente, são projetadas para ajudar os estudantes a aprenderem sobre um conteúdo específico de matemática, o que não pode ser obtido em educação formal.

Os resultados obtidos pelos alunos exclusivamente com o uso do protótipo mostram que a manipulação de objetos nos mundos virtuais parece ter impulsionado o seu aprender, pela tradução de fontes imperceptíveis de informação e pela reedificação de idéias abstratas. Isso significa que a RV promove a melhor e, provavelmente, a única estratégia que permite aos estudantes aprenderem por experiência de primeira-pessoa, isto é, aquelas em que o conhecimento gerado é direto e pessoal. Considera-se que muitos estudantes “falham” na escola por não dominarem os sistemas de símbolos que

estudam, embora sejam perfeitamente capazes de dominar os conceitos. Por outro lado, os resultados obtidos pelos mesmos alunos nos conteúdos abordados na disciplina de Matemática de suas séries não permitem reforçar a hipótese de que a manipulação de objetos possibilita o melhor mecanismo de aprendizagem, pois, analisando as notas do terceiro trimestre (época da aplicação do protótipo) com os resultados obtidos pelo uso do protótipo não se percebe nenhuma relação de atração (a correlação entre as variáveis foi fraca e negativa). Isso deve-se, provavelmente, ao tamanho pequeno da amostra, a não realização de repetições do experimentos e ao número reduzido de exercícios propostos.

Os ambientes implementados como páginas de um hipertexto possibilitaram a interação entre objetos 3D e textos em 2D. Ao implementar o protótipo utilizando *frames*, percebeu-se que os alunos não se importavam com o tamanho da janela, não tendo havido diferença entre o número daqueles que utilizaram o ambiente em tela cheia e o dos que utilizaram a janela no tamanho normal. As barras dos *browsers* não influenciaram na visualização dos objetos, pois a maioria dos alunos não se preocupou em ocultá-las. Isso leva a acreditar que a tela do monitor, por menor que seja, não influenciou no desempenho que eles tiveram no uso do AV, no processo de ensino-aprendizagem de uma área de conhecimento. Lembra-se que o monitor utilizado nesta pesquisa era de 15 polegadas e o adaptador de vídeo do computador não era uma placa gráfica 3D.

Mesmo que o conhecimento inicial dos alunos sobre RV fosse mínimo, percebeu-se que a maioria não se empolgou com a novidade. Aparentemente, eles participaram da pesquisa porque houve um compromisso da escola. O AV não-imersivo, para que se torne um atrativo para os alunos, deverá integrar-se com outras linguagens, com o que se pode implementar ambientes mais interativos e interessantes. A utilização de *applets* Java com VRML poderia ser uma das alternativas.

Muitas empresas que desenvolvem *browsers* para VRML e HTML utilizam extensões da linguagem JavaScript, o que impossibilita que o ambiente desenvolvido para um *browser* rode em um outro. Como o protótipo foi desenvolvido para ser utilizado com o Netscape 4.5 e o CosmoPlayer 2.1, não foi possível visualizar o protótipo com o Internet Explorer 5.0 da Microsoft, pois o ambiente não era carregado por completo. Isso permite concluir que, ao desenvolver um ambiente com o intuito de disponibilizá-lo na *web*, e não apenas desenvolvê-lo para ser aplicado em um laboratório, o programador deverá levar em conta tais questões.

O uso de *cookies* mostrou-se uma ótima alternativa para registrar o usuário quando ele entra no ambiente pela primeira vez no arquivo de *log*. Em relação ao uso de um arquivo de *log* para armazenar as ações dos alunos, percebeu-se que ele é um bom recurso. Entretanto, não foi muito trivial a seleção dos dados do arquivo de *log* que foram submetidos à análise estatística. Ao utilizar o Excel 7.0 da Microsoft para tabular os dados, percebeu-se que os recursos disponíveis por este *software* eram limitados. Mesmo utilizando o Excel apenas como uma base de dados, a seleção das variáveis foi extremamente difícil: o arquivo de *log* continha mais de 4000 linhas de dados; os dados analisados eram do tipo: nome do usuário, URL de acesso, data, hora e ação do usuário. A solução poderia ser a implementação de um sistema que auxiliasse o professor na escolha e na seleção das variáveis; com isso, a importação desses dados para um pacote estatístico (o pacote estatístico utilizado neste trabalho foi o Statistica 5.0) poderia se tornar extremamente mais fácil.

Um ponto importante que deve ser levado em conta refere-se à *novidade* da linguagem VRML, sendo necessária, ainda, uma maior definição de suas características. A própria especificação VRML97 não implementa todas as características desejáveis, como o uso para ambientes multiusuários. Aparentemente, a alternativa será o padrão X3D, entretanto ainda é cedo para se ter uma conclusão definitiva sobre o uso desse padrão.

Por fim, as construções 3D são complexas, sendo difícil implementar ambientes que permitam ao usuário disponibilizar ou acrescentar alguma contribuição ao mundo que explora. Isso contribui para transformar os mundos virtuais 3D em vitrines dispendiosas que oferecem pouca possibilidade de explorar interações emergentes. Portanto, o desenvolvimento de projetos baseados na tecnologia Java poderá oferecer algumas soluções para esses problemas.

6.1 Falhas detectadas

Não foi implementado um mecanismo que controlasse o nome e a senha de acesso, quando o aluno entrava no sistema, isto é, não foram testados os valores “String”, “String vazia” e “Null” do *cookie*. Isso ocorreu porque se julgava que a obrigação de informar um nome tornaria o ambiente impróprio para a aprendizagem. Entretanto, após a análise do arquivo de *log*, percebeu-se que esse controle era necessário em razão da alta porcentagem de acessos não-válidos referente à não-indicação do nome ou à indicação de nomes inválidos.

Mesmo considerando o avanço crescente da potência computacional, ainda são dispendiosas e complexas as plataformas capazes de criar interações 3D em tempo-real. O ambiente, por menor que seja, exige considerável dispêndio de tempo para ser carregado. Mesmo utilizando o protótipo em um laboratório, a taxa para carregar o ambiente foi alta.

Segundo Mullet e Schiano, citado por [FER 98], os olhos humanos captam uma visão 3D do mundo; a inteligência e a cognição humanas criam modelos multidimensionais da realidade, nos quais se consideram as dimensões temporais, a noção de propriedade, de comunidade, etc. Essa capacidade de tratar multidimensionalidade sugere que o tridimensional, embora atraente aos olhos, não produz, necessariamente, mudanças qualitativas e quantitativas na interação. Essa conclusão descrita pelos autores não foi avaliada nesta pesquisa.

6.2 Trabalhos futuros

Um dos pontos que, sem dúvida, deveria ser trabalhado novamente refere-se à amostra. O protótipo foi utilizado por alunos da 7^a série de uma escola particular. Para que se pudesse generalizar os resultados, seria imprescindível aplicá-lo também a alunos de outras séries e em escolas onde os alunos possuem outro perfil, como, por exemplo, naquelas em que eles não têm acesso ao computador tão facilmente quanto os alunos que testaram o protótipo.

Um aspecto que não foi contemplado neste trabalho é a relação entre o uso de jogos (2D e 3D) e o desempenho do aluno, tanto no aprendizado com o uso do protótipo

como nos conteúdos de geometria e de matemática em geral. O questionário não levantou esse dado e essa seria uma questão importante a ser considerada.

Outra questão que não foi respondida no trabalho refere-se à aplicação de AVs no processo de ensino-aprendizagem de outras áreas de conhecimento de matemática. O protótipo tinha como intuito desenvolver o conhecimento em geometria, porém, para poder dizer que o AV não-imersivo é ou será imprescindível no processo de ensino-aprendizagem, deveriam ser implementados ambientes que tenham como finalidade desenvolver o conhecimento nas áreas de álgebra ou, mesmo, aritmética.

Por mais que se possa afirmar que o AV não-imersivo é uma tecnologia que os professores podem utilizar para ensinar matemática, não se pode dizer que ela seja útil para ensinar em outras áreas, como biologia, química, etc. ou, mesmo, para auxiliar na formação de cidadãos. Para poder fazer tais análises, seria importante implementar AVs que se caracterizem por ensinar essas áreas de conhecimento; coletar os dados da mesma forma que foi feito neste trabalho (arquivo de *log*) e realizar análises estatísticas comparando os resultados. Nesse caso, ter-se-iam dados suficientes para afirmar que o AV não-imersivo é uma tecnologia que pode ser usada em sala de aula; já, quanto à questão de formar cidadãos, o processo é muito mais complexo, pois envolve questões de ética e cooperação.

Para implementar os AVs que têm como finalidade desenvolver atitudes de cooperação entre usuários, levar-se-ão em conta a teoria vygotskiniana. Pretende-se implementar ambientes onde os usuários se comportem como desenvolvedores do processo de ensino-aprendizagem. Nesse contexto, o mais importante é a criação que o usuário faz dos objetos modelados, a qual é compartilhada com os outros usuários do sistema. Ambientes com tais características serão implementados com base na tecnologia Java.

Um recurso que não foi utilizado nesta pesquisa e que poderia levantar dados mais amplos sobre o uso da tecnologia de AV não-imersivo em sala de aula, principalmente em relação aos ambientes implementados em VRML, é a pesquisa *on-line*. Pretende-se desenvolver uma pesquisa com essas características com os usuários da *web* para descobrir o seu perfil. Para tanto, será desenvolvido um *site*, no qual o usuário acessará informações sobre a tecnologia de VRML e responderá a um formulário eletrônico que trata sobre o assunto, pois é preciso avaliar melhor o perfil do usuário que navega por AVs. Com essas informações, poder-se-á implementar de uma forma personalizada os AVs, isto é, implementá-los levando-se em conta as características dos usuários.

Por fim, um ponto descrito nesta pesquisa e que, entretanto, não foi analisado é a questão do desenvolvimento dos aspectos cognitivos. Essa questão é tão importante que, para se ter certeza de que os AVs modelados em VRML contribuem para o seu desenvolvimento, sugere-se que um sistema seja implementado exclusivamente para esse fim. O AV deverá possibilitar os registros da navegação realizada pelo usuário no sistema, ponto esse que é crucial. Pela análise desses dados, poder-se-á avaliar a verdadeira contribuição dada pelos AVs no desenvolvimento dos aspectos cognitivos.

Anexo A Tabelas

Este anexo é um subproduto do trabalho fornecido como um suplemento para busca de informações adicionais em relação às análises estatísticas. Em seqüência, apresentam-se as tabelas que retratam os resultados obtidos com a aplicação do protótipo.

Tabela A.1 - Distribuição das respostas por questão.

Resposta	Questões										Total
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
a	9	1	4	3	12	3	12	4	9	-	57
b	9	3	4	2	7	3	-	11	2	3	44
c	11	13	12	3	6	12	-	-	-	3	60
d	8	4	2	12	4	2	-	1	1	9	43
a b	1	1	-	-	-	-	-	-	1	-	3
a c	15	2	1	-	1	-	-	-	-	-	19
a d	-	1	-	1	-	-	-	-	-	-	2
b c	1	1	1	-	-	-	-	-	-	-	3
b d	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	2
c d	2	-	1	-	-	-	-	-	-	-	3
a b c	2	1	1	-	-	-	-	-	-	-	4
b c d	1	1	1	-	-	-	-	-	-	-	3
a b c d	-	2	2	-	-	-	-	-	-	-	4
Total	60	31	29	21	30	20	12	16	13	15	247(5)

Fonte: Primária.

Tabela A.2 - Distribuição das respostas por aluno.

Alunos	Questões										Branco	Total
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
1	9	2	3	6	5	2	2	3	4	1	1	38
2	2	1	7	2	3	4	1	1	-	-	-	21
3	3	4	7	2	7	2	2	3	1	2	-	33
4	4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	-	13
5	1	7	1	4	3	4	1	1	2	4	1	29
6	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	-	12
8	25	2	4	-	-	-	-	-	-	-	1	32
9	6	10	2	2	1	1	1	1	1	1	2	28
10	3	2	2	2	6	3	2	3	2	2	-	27
11	4	1	1	1	3	2	1	2	1	3	-	19
Total	60	31	29	21	30	20	12	16	13	15	5	252

Fonte: Primária.

Tabela A.3 - Distribuição dos resultados das respostas por aluno.

Alunos	Respostas			Total
	Acertos	Erros	Branco	
1	19	18	1	38
2	7	14	-	21
3	18	15	-	33
4	10	3	-	13
5	10	18	1	29
6	10	2	-	12
8	2	29	1	32
9	11	15	2	28
10	20	7	-	27
11	10	9	-	19
Total	117	130	5	252

Fonte: Primária.

Tabela A.4 - Distribuição do tempo para responder às questões por aluno.

Alunos	Hora final	Hora inicial	Tempo
1	14:27:11	13:45:49	0:41:22
2	14:06:58	14:01:41	0:05:17
3	13:59:08	13:49:57	0:09:11
4	14:27:06	13:58:05	0:29:01
5	13:55:27	13:48:52	0:06:35
6	14:01:18	13:58:19	0:02:59
8	13:59:40	13:50:56	0:08:44
9	14:47:55	13:54:01	0:53:54
10	14:27:13	13:53:47	0:33:26
11	13:57:52	13:51:40	0:06:12

Fonte: Primária.

Tabela A.5 - Distribuição dos resultados das respostas por questões.

Questões	Respostas		Total
	Acertos	Erros	
1	15	45	60
2	13	18	31
3	12	17	29
4	12	9	21
5	12	18	30
6	12	8	20
7	12	-	12
8	11	5	16
9	9	4	13
10	9	6	15
Total	117	130	247(5)

Fonte: Primária.

Tabela A.6 - Distribuição do resultado das respostas e do tempo por aluno.

Alunos	Resultado das respostas		Tempo
	Acertos	Erros	
1	19	18	41:22
2	7	14	5:17
3	18	15	9:11
4	10	3	29:01
5	10	18	6:35
6	10	2	2:59
8	2	29	8:44
9	11	15	53:54
10	20	7	33:26
11	10	9	6:12

Fonte: Primária.

Tabela A.7 - Distribuição das palavras digitadas por aluno.

Alunos	Ordem das palavras digitadas					Total
	1ª	2ª	3ª	4ª	5ª	
1	133	121	107	87	64	512
2	87	83	79	70	58	377
3	66	63	60	51	34	274
4	63	59	53	43	31	249
5	59	52	47	36	20	214
6	45	43	37	32	27	184
7	96	95	91	83	66	431
9	26	23	22	21	16	108
10	50	41	32	27	17	167
11	16	15	14	12	8	65
13	20	20	19	16	10	85
Total	661	615	561	478	351	2.666

Fonte: Primária.

Tabela A.8 - Distribuição da indicação das respostas e do tempo por aluno.

Alunos	Indicação das palavras		Tempo
	Hora final	Hora inicial	
1	14:23:48	13:41:37	42:11
2	14:30:01	13:44:18	45:43
3	14:14:44	13:42:18	32:26
4	14:14:30	13:53:45	20:45
5	14:14:38	13:42:07	32:31
6	14:14:29	13:54:13	20:16
7	14:28:28	13:43:29	44:59
9	14:25:55	13:59:34	26:21
10	14:13:48	13:54:06	19:42
11	14:25:57	14:13:15	12:42
13	14:25:42	14:13:57	11:45

Fonte: Primária.

Tabela A.9 - Distribuição dos acessos por aluno.

Alunos	Total
1	537
2	492
3	343
4	340
5	316
6	289
7	273
8	259
9	258
10	257
11	151
12	146
13	134
14	81
15	76
16	63
Total	4.015

Fonte: Primária.

Tabela A.10 - Distribuição dos acessos por data e aluno.

Alunos	Datas			Total
	29/11/1999	30/11/1999	02/12/1999	
1	113	303	121	537
2	160	216	116	492
3	96	153	94	343
4	80	138	122	340
5	81	139	96	316
6	60	103	126	289
7	44	153	76	273
8	128	-	131	259
9	70	72	116	258
10	47	115	95	257
11	38	50	63	151
12	146	-	-	146
13	80	54	-	134
14	81	-	-	81
15	76	-	-	76
16	63	-	-	63
Total	1.363	1.496	1.156	4.015

Fonte: Primária.

Tabela A.11 - Distribuição do tempo de acesso por data e aluno.

Alunos	Datas		
	29/11/1999	30/11/1999	02/12/1999
1	1:10:52	0:56:20	0:58:19
2	1:25:15	1:07:43	0:54:18
3	1:06:40	0:48:14	0:57:10
4	1:04:39	0:25:49	0:55:21
5	1:10:26	0:47:34	0:58:10
6	1:04:33	0:25:41	1:12:17
7	1:07:30	0:55:30	0:45:38
8	1:06:46	-	0:52:19
9	1:03:48	0:47:05	0:23:29
10	1:04:17	0:25:06	0:56:24
11	1:02:52	0:32:34	0:58:56
12	1:09:47	-	-
13	1:10:03	0:33:38	-
14	0:32:56	-	-
15	1:03:40	-	-
16	1:04:54	-	-

Fonte: Primária.

Tabela A.12 - Distribuição da ação dos alunos em figuras_botoes.htm.

Alunos	Ação			Total
	Entrar no site	Exibir figura	Construir figura	
1	25	15	2	42
2	26	10	19	55
3	20	13	3	36
4	16	13	-	29
5	10	14	1	25
6	30	4	-	34
7	10	5	1	16
8	22	16	5	43
9	15	10	4	29
10	13	8	1	22
11	3	6	2	11
12	21	21	9	51
13	18	11	3	32
14	21	12	3	36
15	16	8	2	26
16	27	5	3	35
Total	293	171	58	522

Fonte: Primária.

Tabela A.13 - Distribuição do tempo por ação dos alunos em figuras_botoes.htm.

Alunos	Hora final	Hora inicial	Tempo
1	14:49:11	13:54:11	55:00
2	14:50:58	13:53:11	57:47
3	14:49:01	13:53:19	55:42
4	14:50:46	14:02:28	48:18
5	14:49:15	13:52:51	56:24
6	14:50:41	13:52:53	57:48
7	14:50:28	13:56:10	54:18
8	14:49:03	14:04:02	45:01
9	14:48:52	13:58:12	50:40
10	14:50:27	13:52:34	57:53
11	14:48:58	13:54:32	54:26
12	14:49:14	13:59:28	49:46
13	14:48:48	13:59:56	48:52
14	14:17:54	13:48:37	29:17
15	14:50:35	13:54:48	55:47
16	14:49:54	13:55:16	54:38

Fonte: Primária.

Tabela A.14 - Distribuição da escolha de cabeçalho por aluno.

Alunos	Total
1	33
2	25
3	26
4	21
5	21
6	14
7	13
8	26
9	26
10	18
11	15
12	25
13	16
14	16
15	11
16	5
Total	311

Fonte: Primária.

Tabela A.15 - Distribuição da escolha de cabeçalho por data e aluno.

Alunos	Datas			Total
	29/11/1999	30/11/1999	02/12/1999	
1	17	10	6	33
2	13	10	2	25
3	17	4	5	26
4	17	3	1	21
5	16	3	2	21
6	7	3	4	14
7	6	3	4	13
8	24	-	2	26
9	14	4	8	26
10	10	4	4	18
11	7	4	4	15
12	25	-	-	25
13	13	3	-	16
14	16	-	-	16
15	11	-	-	11
16	5	-	-	5
Total	218	51	42	311

Fonte: Primária.

Tabela A.16 - Distribuição da escolha do tipo de cabeçalho por aluno.

Alunos	UserID		Total
	../htm/figuras_cabecalho2.htm	../htm/figuras_cabecalho2.htm	
1	15	18	33
2	15	10	25
3	14	12	26
4	13	8	21
5	10	11	21
6	10	4	14
7	7	6	13
8	18	8	26
9	15	11	26
10	7	11	18
11	11	4	15
12	14	11	25
13	8	8	16
14	13	3	16
15	7	4	11
16	4	1	5
Total	181	130	311

Fonte: Primária.

Anexo B Histogramas das notas dos alunos

Em seqüência, apresentam-se as figuras que mostram os histogramas das notas que os alunos obtiveram na disciplina de Matemática nos três trimestres de 1999.

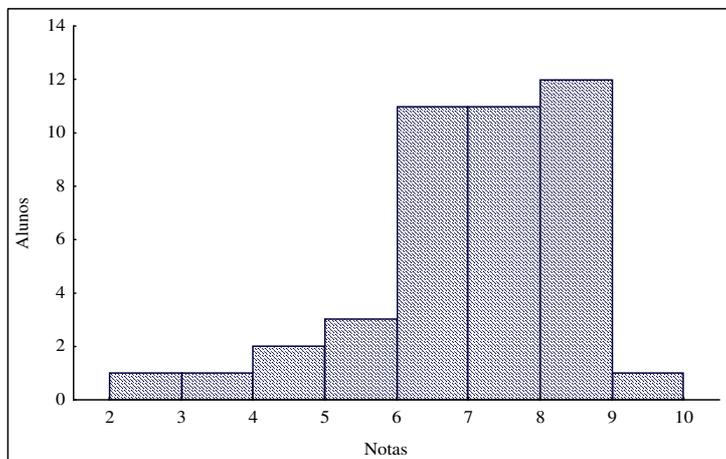


Figura B.1 - Distribuição das notas no I trimestre em relação aos alunos.

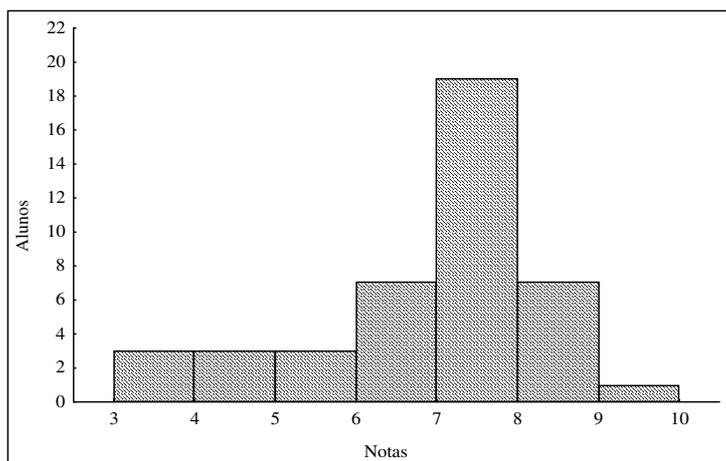


Figura B.2 - Distribuição das notas no II trimestre em relação aos alunos.

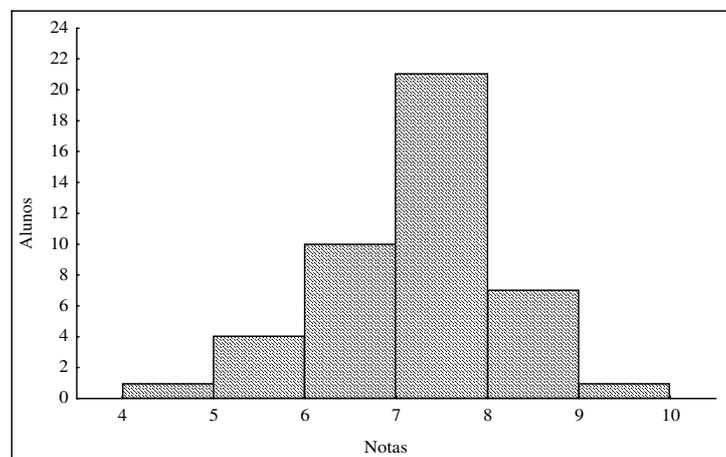


Figura B.3 - Distribuição das notas no III trimestre em relação aos alunos.

Anexo C Questionário

Este instrumento (questionário) foi utilizado para coletar os dados junto aos alunos que participaram e aos que não participaram dos testes de validação do protótipo. O questionário foi utilizado para avaliar a percepção dos alunos em relação ao uso do computador.

- 1) A sua idade: ____ anos
- 2) Você é um menino () ou uma menina ()
- 3) Você já trabalhou com um computador?
Sim: () Não: ()
- 4) Se a resposta da questão anterior for sim, responda em que local você mais trabalha com o computador?
 a) na escola ()
 b) em casa ()
 c) no local de trabalho de seus pais ()
 d) em outro local () qual: _____
- 5) Você tem computador na sua casa?
Sim: () Não: ()
- 6) Se a resposta da questão anterior for sim, responda se você tem internet.
Sim: () Não: ()
- 7) Se a resposta da questão anterior for sim, você utiliza a internet para
 a) se divertir ()
 b) estudar ()
 c) conhecer outras pessoas ()
 d) outra coisa () qual: _____
- 8) Quais desses programas você conhece?
 a) editor de texto () dê um exemplo _____
 b) planilha de cálculo () dê um exemplo _____
 c) banco de dados () dê um exemplo _____
 d) editor gráfico () dê um exemplo _____
 e) navegador da internet () dê um exemplo _____
- 9) Você já ouviu falar de VRML (Virtual Reality Modeling Language)?
Sim: () Não: ()
- 10) O que você pensa sobre o uso do computador no ensino, isto é, como ferramenta para a aprendizagem?

Bibliografia

- [3DA 99] 3D ANIMATION Workshop: Lesson 74 New Era in Web 3d - webreference.com. 1999. Disponível em: <<http://www.webreference.com/3d/lesson74/index.html>>. Acesso em: 13 set. 1999.
- [AME 97] AMES, Andrea L.; NADEAU, David R.; MORELAND, Jonh L. **VRML 2.0 Sourcebook**. 2nd ed. New York: John Wiley & Sons, 1997.
- [ARA 98] ARAUJO, Regina B.; BATTAIOLA, André L.; GOYOS, Celso. **Exploração do uso de realidade virtual no aprendizado de habilidades acadêmicas para o ensino fundamental**. 1998. Disponível em: <<http://www.inf.ufes.br/~tavares/sbie98/anais/artigos/art33.html>>. Acesso em: 22 jun. 1999.
- [BAR 98] BARBETTA, Pedro A. **Estatística aplicada às ciências sociais**. Florianópolis: Ed. da UFSC, 1998.
- [BIC 99] BICUDO, Maria A. V. Pesquisa em educação matemática: concepções e perspectivas. In: BORBA, Marcelo C. **Tecnologias informáticas na educação matemática e reorganização do pensamento**. São Paulo: Ed. UNESP, 1999. 313p. p.285-295.
- [BRA 96] BRANDÃO, Edemilson Jorge Ramos. **Informática e Educação: uma difícil aliança**. 1996. Disponível em: <<http://vitoria.upf.tche.br/~brandao/livro.html>>. Acesso em: 20 jan. 1999.
- [BRU 99] BRUSSO, Marcos José. O uso de mineração de dados na descoberta do comportamento do usuário da Web. In: SEMANA ACADÊMICA DO PPGC, 1999, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: PPGC da UFRGS, 1999. 391p. p. 183-186.
- [BYR 92] BYRNE, Chris M.; BRICKEN, Meredith. **Summer students in virtual reality: a pilot study on educational applications of virtual reality technology**. 1992. Disponível em: <<http://www.hitl.washington.edu/publications/r-92-1/>>. Acesso em: 12 jan. 1999.
- [BYR 93] BYRNE, Chris. **Virtual reality and education**. 1993. Disponível em: <<http://www.hitl.washington.edu/publications/r-93-6/>>. Acesso em: 12 jan. 1999.
- [CAR 97a] CAREY, Rikk; BELL, Gavin. **The Annotated VRML Reference Manual**. 1997. Disponível em: <<http://www.best.com/~rikk/Book/>>. Acesso em: 21 maio 1999.
- [CAR 97b] CAREY, Rikk; BELL, Gavin. **The Annotated VRML Reference Manual - Appendix C: JavaScript Scripting Reference**. 1997. Disponível em: <<http://www.best.com/~rikk/Book/appc.htm>>. Acesso em: 21 maio 1999.

- [CHA 96] CHACO: Corporate information. 1996. Disponível em: <<http://www.chaco.com/avatar/avatar.html>>. Acesso em: 26 fev. 2000.
- [COM 98] COMPRESSED Binary Format for VRML97 (vrml-cbf). 1998. Disponível em: <<http://www.vrml.org/WorkingGroups/vrml-cbf/draftbinreqs.html>>. Acesso em: 27 fev. 2000.
- [COS 2000] COSMO PLAYER. **Plug-in: browser VRML**. Disponível em: <<http://cosmosoftware.com/products/player/>>. Acesso em: 01 fev. 2000.
- [CRO 97] CRONIN, Paul. **Report on the applications of virtual reality technology to education**. 1997. Disponível em: <<http://www.cogsci.ed.ac.uk/~paulus/vr.htm>>. Acesso em: 01 fev. 1999.
- [DAV 85] DAVIS, Philip. J. **A experiência da matemática**. Rio de Janeiro: F. Alves, 1985. 477p.
- [ELE 97] ELEMENTOS De Euclides. 1997. Disponível em: <<http://www.mat.uc.pt/~jaimecs/euclid/intro.html>>. Acesso em: 24 jul. 1999.
- [ENV 97] ENVIRONMENTS for Learning, Work, and Play. 1997. Disponível em: <<http://www.merl.com/opencom/>>. Acesso em: 26 fev. 2000.
- [EVE 92] EVES, Hoaward. **Geometria**. São Paulo: Atual, 1992. 77p.
- [FER 98] FERNANDES, Jorge Henrique Cabral. **Ciberespaço: Modelos, Tecnologias, Aplicações e Perspectivas da Vida Artificial à Busca por uma Humanidade Auto-Sustentável**. 1998. Disponível em: <<http://www.cin.ufpe.br/~jhcf/ciberespaco/>>. Acesso em: 20 jan. 2000.
- [GRU 97] GRUPO de Realidade Virtual UFSCar. 1997. Disponível em: <<http://www.dc.ufscar.br/~grv/>>. Acesso em: 26 fev. 2000.
- [HAN 99] HANUSKA, Dusan. **Information Systems and VRML Worlds**. 1999. Disponível em: <<http://www.cg.tuwien.ac.at/studentwork/CESCG99/Dhanuska/>>. Acesso em: 13 jan. 2000.
- [HAR 96] HARTMAN, Jed; WERNECKE, Josie. **The VRML 2.0 handbook: building moving worlds on the web**. [S.l.]: Silicon Graphics, Inc., 1996. 412p.
- [KIR 97] KIRNER, Claudio. **Mini-curso: Introdução à Realidade Virtual**. São Carlos: GRV da UFSCar, 1997. 40p.
- [KOC 97] KOCH, Stefan. **Voodoo's Introduction to JavaScript**. 1997. Disponível em: <<http://rummelplatz.uni-mannheim.de/~skoch/js/>>. Acesso em: 21 maio 1999.
- [LÉV 93] LÉVY, Pierre. **As tecnologias da inteligência: o futuro do pensamento na era da informática**. Rio de Janeiro: Ed. 34, 1993. 208p.

- [MAR 96] MARRIN, Chris. **Anatomy of a VRML Browser**. 1996. Disponível em: <<http://www.marrin.com/vrml/Interface.html>>. Acesso em: 27 jan. 2000.
- [MAR 97] MARRIN, Chris; CAMPBELL, Bruce. **Teach Yourself VRML 2 in 21 days**. Indianapolis: Sams net. 1997.
- [McC 97] McCOMB, Gordon. **JavaScript Sourcebook**. São Paulo: Makron Books, 1997. 736p.
- [MIC 2000] MICROSOFT INTERNET EXPLORER. **Browser HTML**. Disponível em: <<http://www.microsoft.com/windows/IE/>>. Acesso em: 01 fev. 2000.
- [MOD 2000] MODEL Primary Content Type. **Multipurpose internet mail extensions**. Disponível em: <<http://www.iso.ch/isob/switch-engine-cate.pl?KEYWORDS=11172&searchtype=refnumber>>. Acesso em: 26 fev. 2000.
- [MOR 99] MORLEY, Chris. [libvrml97] **Re: javascript**. Disponível em: <cmorley@vermontel.net>. Acesso em: 15 out. 1999.
- [MOS 95] MOSHELL, J. Michael. **Goals for research concerning the use of virtual environments for science and mathematics education**. 1995. Disponível em: <http://www.dml.cs.ucf.edu/cybrary/dml_pubs/JMM94.63.html>. Acesso em: 01 fev. 1999.
- [NET 2000] NETSCAPE COMMUNICATOR. **Browser HTML**. Disponível em: <<http://home.netscape.com/home/internet-search.html>>. Acesso em: 01 fev. 2000.
- [OPE 97] OPEN INVENTOR. 1997. Disponível em: <http://www.sgi.com/Technology/Inventor/relnotes_2.1.html>. Acesso em: 26 fev. 2000.
- [OSB 97] OSBERG, Kimberley M. **Spatial cognition in the virtual environment**. 1997. Disponível em: <<http://www.hitl.washington.edu/publications/r-97-18/>>. Acesso em: 01 fev. 1999.
- [PAG 99] PAGE. **Construtivismo**. 1999. Disponível em: <<http://penta2.ufrgs.br/edu3375/constr1.htm>>. Acesso em: 21 jan. 1999.
- [PAP 85] PAPERT, Seymour. **Logo: computadores e educação**. São Paulo: Brasiliense, 1985. 254p.
- [PAP 94] PAPERT, Seymour. **A máquina das crianças: repensando a escola na era da informática**. Porto Alegre: Artes Médicas, 1994. 210p.
- [PAR 99] PARÂMETROS Curriculares Nacionais – Matemática. Disponível em: <<http://ribeiro.futuro.usp.br/bibvirt/acervo/paradidat/pcns/matematica.html>>. Acesso em: 21 jan. 1999.

- [PAS 97] PASQUALI, Luiz. **Psicometria**: teoria e aplicações. Brasília: UNB, 1997.
- [PAS 99a] PASQUALOTTI, Adriano. A realidade virtual como proposta de ensino-aprendizagem de Matemática. In: SEMANA ACADÊMICA DO PPGC, 1999, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: PPGC da UFRGS, 1999. 391p. p. 247-250.
- [PAS 99b] PASQUALOTTI, Adriano. **VRML na educação de matemática**. 1999. Disponível em: <<http://vitoria.upf.tche.br/~pasqualotti/prototipo/hm/index.htm>>. Acesso em: 23 nov. 1999.
- [PIN 99] PINHO, Marcio Serolli. **Re: Problema**. Disponível em: <pinho@inf.pucrs.br>. Acesso em: 04 out. 1999.
- [QUI 2000] QUICKTIME. 2000. Disponível em: <<http://www.apple.com/quicktime/>>. Acesso em: 29 fev. 2000.
- [SAN 96] SANDERS, Donald; GAY, Eben. **VRML-Based Public Education--an example and a vision**. 1996. Disponível em: <<http://www.vrmlsite.com/dec96/spot2.html>>. Acesso em: 24 fev. 2000.
- [SCH 99a] SCHREIBER, Jacques. **Re: Contato**. Disponível em: <jacques@polaris.unisc.br>. Acesso em: 20 set. 1999.
- [SCH 99b] SCHREIBER, Jacques. **Re: Autorização**. Disponível em: <jacques@polaris.unisc.br>. Acesso em: 14 dec. 1999.
- [SGI 97] SGI COSMO PRODUCTS REFERENCES. 1997. Disponível em: <<http://www.sgi.com/software/cosmo/redirect.html>>. Acesso em: 26 fev. 2000.
- [SHU 99] SHULMAN, Seth. Virtual reality goes to school. **Computer Graphics World**, Nashua, v.22, n.3, p.38-44, Mar. 1999.
- [SOF 97] SOFTWARE para a Geração Automática de Modelos 3D em VRML. 1997. Disponível em: <<http://www.inf.ufsm.br/~pollo/TG/>>. Acesso em: 26 fev. 2000.
- [VAC 98] VACCA, John R. **VRML Clearly Explained**. 2nd ed. San Diego: AP Professional, 1998.
- [VRC 2000] VRCREATOR 2.0 Learning Edition. Building VRML. 2000. Disponível em: <<http://www.platinum.com>>. Acesso em: 02 fev. 2000.
- [VRM 97a] VRML97, ISO/IEC 14772-1:1997 - The Virtual Reality Modeling Language. 1997. Disponível em: <<http://www.vrml.org/Specifications/VRML97/index.html>>. Acesso em: 21 maio 1999.
- [VRM 97b] VRML97, ISO/IEC 14772-1:1997 -- Annex C, ECMAScript Scripting Reference. 1997. Disponível em: <<http://www.vrml.org/Specifications/VRML97/part1/javascript.html>>. Acesso em: 21 maio 1999.

- [VRM 99] VRML JavaScript Tutorial. 1999. Disponível em: <<http://hiwaay.net/~crispen/vrmlworks/tutorials/JavaScript/index.html>>. Acesso em: 21 maio 1999.
- [W3C 97] W3C - The World Wide Web Consortium. 1997. Disponível em: <<http://www.w3.org/>>. Acesso em: 26 fev. 2000.
- [WIN 92] WINN, William D.; BRICKEN, William. Designing virtual worlds for use in mathematics education: the example of experiential algebra. **Educational Technology**, New Jersey, v.32, n.12, p.12-19, Dec. 1992.
- [WIN 93] WINN, William D. **A conceptual basis for educational applications of virtual reality**. 1993. Disponível em: <<http://www.hitl.washington.edu/publications/r-93-9/>>. Acesso em: 01 fev. 1999.
- [WIN 96] WINN, William. D. Virtual environments in maintenance training. **Technological Horizons in Education**, New Jersey, v.23, n.5, p.2, Dec. 1996.
- [WIN 97a] WINN, W. D. **The impact of three-dimensional immersive virtual environments on modern pedagogy**. 1997. Disponível em: <<http://www.hitl.washington.edu/publications/r-97-15/>>. Acesso em: 13 jan. 1999.
- [WIN 97b] WINN, William D.; HOFFMAN, Hunter; HOLLANDER, Ari; OSBERG, Kimberley; ROSE, Howard; CHAR, Patti. **The effect of student construction of virtual environments on the performance of high- and low-ability students**. 1997. Disponível em: <<http://www.hitl.washington.edu/publications/r-97-6/>>. Acesso em: 01 fev. 1999.
- [X3D 99] X3D Documents. 1999. Disponível em: <<http://www.vrml.org/news/x3d/index.html>>. Acesso em: 18 jan. 2000.

Outras fontes não impressas

- [ALM 95] ALMANAQUE Abril: a enciclopédia em multimídia. São Paulo: Abril Multimídia, 1995. CD-ROM.



Ambientes VRML para o ensino-aprendizagem de
matemática: modelo conceitual e estudo de caso

por

Adriano Pasqualotti

Dissertação apresentada aos Senhores:

Prof. Dr. Raul Sidnei Wazlawick (UFSC)

Prof. Dra. Rosa Maria Viccari

Prof. Dr. Luciana Porchel Nedel

Vista e permitida a impressão.
Porto Alegre, ___/___/___.

Profa. Carla Maria Dal Sasso Freitas,
Orientadora.