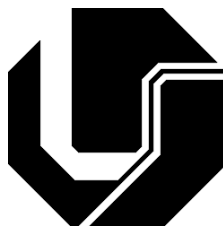


UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA



**Estratégia para o Desenvolvimento de Aplicações
Adaptativas de Visualização de Informações com
Realidade Aumentada**

Ezequiel Roberto Zorzal
Orientando

Alexandre Cardoso, Dr
Orientador

Claudio Kirner, Dr
Co-Orientador

Uberlândia, MG, Novembro de 2009.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

Estratégia para o Desenvolvimento de Aplicações Adaptativas de Visualização de Informações com Realidade Aumentada

Tese apresentada por Ezequiel Roberto Zorzal à
Universidade Federal de Uberlândia para obtenção do
título de Doutor em Ciências, avaliada em 24/11/2009
pela banca examinadora.

Área de Concentração

Processamento da Informação

Banca Examinadora:

Alexandre Cardoso, Dr (UFU) - Orientador

Claudio Kirner, Dr (UNIFEI) - Co-Orientador

Edgard Afonso Lamounier Júnior, PhD (UFU)

Keiji Yamanaka, PhD (UFU)

Romero Tori, Dr (USP)

Uberlândia, MG, Novembro de 2009.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Z88e Zorzal, Ezequiel Roberto, 1983-
Estratégia para o desenvolvimento de aplicações adaptativas de visualização de informações com realidade virtual / Ezequiel Roberto Zorzal. - 2009.
191 f. : il.

Orientador: Alexandre Cardoso.
Co-orientador: Cláudio Kirner.

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica.
Inclui bibliografia.

1. Realidade aumentada - Teses. 2. Sistemas de recuperação da informação - Teses. I. Cardoso, Alexandre, 1964- II. Kirner, Cláudio. III. Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica. IV. Título.

CDU: 681.3:007.52

Estratégia para o Desenvolvimento de Aplicações Adaptativas de Visualização de Informações com Realidade Aumentada

Tese apresentada por Ezequiel Roberto Zorzal à
Universidade Federal de Uberlândia para obtenção do
título de Doutor em Ciências.

Alexandre Cardoso, Dr.
Orientador/Coordenador

Claudio Kirner, Dr.
Co-Orientador

Dedico este trabalho à minha incrível esposa,
família e amigos, pelo amor e incentivos
dispensados comigo.

“Faça as coisas o mais simples, não as mais
simples.”

(Albert Einstein)

“A simplicidade é o último estágio da
sofisticação.”

(Leonardo da Vinci)

“Nosso fascínio pela tecnologia nos fez esquecer o
objetivo principal da informação: informar”.

(Davenport)

“As pessoas podem fazer seus planos, porém é o
Senhor Deus quem dá a última palavra.”

(Provérbios 16:1)

“O único homem que está isento de erros, é aquele
que não arrisca acertar.”

(Albert Einstein)

“O importante é termos a capacidade de sacrificar
aquilo que somos para ser aquilo que podemos ser.”

(Charles Dubois)

"O pensamento lógico pode levar você de A a B,
mas a imaginação te leva a qualquer parte do

Universo."

(Albert Einstein)

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço acima de todas as coisas ao meu grande DEUS, pois sem a permissão e ajuda dEle eu não chegaria à uma conclusão. Meu Deus é poderoso e tenho muito que agradecer-Lo pelas coisas que tem feito em minha vida. Muito obrigado Papai do Céu!

Aos meus familiares que, mesmo longe, sempre me apoiaram. Todo domingo, ao receber suas ligações, sempre ouvi uma frase de minha mãe e meu pai que me encorajaram muito: “Deus está do seu lado, com Ele você tudo pode!”. Papai e mamãe, amo muito vocês e, muito obrigado pela força, pelo apoio, pela confiança... Enfim, por existirem e serem tão maravilhosos comigo. Às minhas irmãs lindas e maravilhosas (Saula e Fernanda), sempre prontas a me ouvir, sempre preparadas com seus carinhos para me dar... Vocês são muito especiais para mim, amo vocês lindas. Aos meus sobrinhos lindos (Paloma, Helena e Athos) vocês são demais, o titio ama vocês.

À minha admirável esposa ”Lane”, pelo amor, carinho, compreensão, força... Agradeço-te muito pelo seu amor perfeito, por todos os momentos maravilhosos que estamos vivendo. Dengosa te amo sem limites e muito obrigado por tudo! Ao meu presente de defesa (meu bebê lindo) que está dentro da barriguinha da mamãe. Papai te ama muito!

Aos prof. Dr. Alexandre Cardoso, prof. Dr. Claudio Kirner e prof. PhD. Edgard Lamounier Jr., pela amizade, incentivo e apoio irrestrito prestado para realização deste trabalho, por suas orientações e por compartilhar de seus conhecimentos e suas experiências pessoais em nossas incontáveis reuniões. Vocês ajudaram muito para que este trabalho se concretizasse. Obrigado por tudo!

A toda delegação do Laboratório de Computação Gráfica e do Grupo de Realidade Virtual (GRV-UFU) pela colaboração e disseminação do conhecimento. Ao meu irmão Abel pela nossa amizade e ajuda indispensável a este trabalho.

Aos manos do APÊ (Wnêiton e Arthur), por me suportarem quase 50% do tempo desta pesquisa e pela amizade compartilhada. Ao Joaquim e família (Cristina, Nathália, Karine e Arthur) por me receberem tão bem e fazerem parte da minha história (minha família).

Aos meus grandes amigos Luciano Ferreira Silva e Mônica Rocha, pela força e por sempre me incentivar nos meus objetivos. A todos meus amigos, e a todas as pessoas que passaram pela minha vida e contribuíram com um pedacinho da minha história.

Por fim, meu agradecimento ao CNPq e a FAPEMIG pelo auxílio financeiro que possibilitou a realização deste trabalho.

E.R.Z

FINANCIAMENTO

Esta tese foi possível graças ao financiamento da FAPEMIG pelo Programa de Infra-estrutura para Jovens Pesquisadores ao seguinte projeto:

- **Realidade Virtual e Realidade Aumentada na Visualização da Informação.**

Processo 78/07. Edital nº 019/2006.

Parte deste trabalho foi realizada com o auxílio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) através da concessão de Bolsa de Doutorado, processo 141910/2007-0.

PUBLICAÇÕES

A seguir são apresentadas as publicações, relacionadas à área, resultantes das pesquisas realizadas no decorrer deste trabalho:

• Revistas Nacionais

Zorzal, E. R.; Oliveira, M. R. F.; Silva, L. F.; Cardoso, A.; Kirner, C.; Lamounier Júnior, E. A. Aplicação de Jogos Educacionais com Realidade Aumentada. *RENTE – Revista Novas Tecnológicas na Educação*, Porto Alegre, v.6, n.1, julho de 2008.

Zorzal, E. R.; Kirner, C.; Cardoso, A.; Lamounier Júnior, E. A.; Oliveira, M. R. F.; Silva, L. F. Ambientes Educacionais Colaborativos com Realidade Aumentada. *RENTE – Revista Novas Tecnológicas na Educação*, Porto Alegre, v.6, n.1, julho de 2008.

Silva, L. F.; Zorzal, E. R.; Oliveira, M. R. F.; Cardoso, A.; Lamounier Júnior, E. A.; Mendes, E.; Takahashi, E. K.; Dos Santos, S. M. Realidade Virtual e Ferramentas Cognitivas Usadas como Auxílio para o Ensino de Física. *RENTE – Revista Novas Tecnológicas na Educação*, Porto Alegre, v.6, n.1, julho de 2008.

• Congressos Internacionais

Kirner, C.; Kirner, T. G.; Zorzal, E. R. Collaborative Augmented Reality Environment for Educational Applications. In: 9TH International Conference on Enterprise Information Systems, 2007, Funchal. Proceedings of the 9TH International Conference on Enterprise Information Systems, 2007.

Kirner, C.; Zorzal, E. R.; Kirner, T. G. Case Studies on the Development of Games Using Augmented Reality. In: 2006 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, 2006, Taipei - Taiwan, 2006.

• Congressos Nacionais

Zorzal, E. R.; Cardoso, A.; Kirner, C.; Lamounier Júnior, E. A. Técnicas de Interação para Ambientes de Realidade Aumentada. In: *WRVA'09 - Workshop de Realidade Virtual e Aumentada*, Santos - SP, 2009.

Zorzal, E. R.; Cardoso, A.; Kirner, C.; Lamounier Júnior, E. A. Arquitetura para aplicações adaptativas de Visualização de Informações com Realidade Aumentada. In: *WRVA'09 - Workshop de Realidade Virtual e Aumentada*, Santos - SP, 2009.

Zorzal, E. R.; Cardoso, A.; Kirner, C.; Lamounier Júnior, E. A. Estratégia para o Desenvolvimento de Aplicações Adaptativas de Visualização. In: *WRVA'09 - Workshop de Realidade Virtual e Aumentada*, Santos - SP, 2009.

- Zorzal, E. R.; Cardoso, A.; Kirner, C.; Ambiente para o Desenvolvimento de Aplicações Adaptativas de Visualização de Informações com Realidade Aumentada. In: Workshop de Teses e Dissertações, X Symposium on Virtual and Augmented Reality, 2008, João Pessoa-PB. 2008.
- Da Silva, W. A.; Ribeiro, M. W. S.; Medeiros, D. F.; Zorzal, E. R.; Cardoso, A. Lamounier Júnior, E. A. A utilização da Realidade Aumentada para vendas no e-commerce: implementação de um protótipo para visualização de acessórios da linha de vestuário. In: SUCESU-MT – 12º Congresso Estadual de Informática e Telecomunicações, 2008, Cuiabá. Anais do SUCESU-MT 2008.
- Medeiros, D.; Da Silva, W. A.; Ribeiro, M. W. S.; Lamounier Júnior, E. Fortes, N. C. O. A.; Cardoso, A.; Andrade, S.; Zorzal, E. R. O uso da Realidade Virtual não-imersiva para o auxílio ao tratamento da aviofobia pelos profissionais da psicologia. In: X Symposium on Virtual and Augmented Reality, 2008, João Pessoa-PB. 2008.
- Da Silva, W. A.; Lamounier Júnior, E. A.; Cardoso, A.; Zorzal, E. R.; Ribeiro, M. W. S.. Interface para distribuição e integração de Realidade Aumentada com Realidade Virtual por meio da plataforma CORBA, tendo como estudo de caso ambientes multidisciplinares de biologia e química. In: SUCESU-MT – 12º Congresso Estadual de Informática e Telecomunicações, 2008, Cuiabá. Anais do SUCESU-MT 2008.
- Arruda, R. V.; Da Silva, W. A. ; Ribeiro, M. W. S.; Lamounier Júnior, E. Fortes, N. C. O. A.; Cardoso, A.; Zorzal, E. R. Uma ferramenta de auxílio ao ensino de história por meio da reconstituição de ambientes históricos utilizando tecnologias de Realidade Virtual não-imersiva. In: X Symposium on Virtual and Augmented Reality, 2008, João Pessoa-PB. 2008.
- Cardoso, A.; Ribeiro, M. W. S.; Lamounier Júnior, E. A.; Zorzal, E. R. Uma ferramenta para o auxílio ao Ensino da Astronomia para alunos do Ensino Fundamental e Médio utilizando a Realidade Virtual não-imersiva utilizando a internet como tecnologia de apoio. In: SUCESU-MT – 12º Congresso Estadual de Informática e Telecomunicações, 2008, Cuiabá. Anais do SUCESU-MT 2008.
- Zorzal, E. R.; Cardoso, A.; Kirner, C.; Lamounier Júnior, E. Visualização de Dados Relativos a Redes de Computadores Usando Realidade Virtual e Aumentada. In: IX Symposium on Virtual and Augmented Reality, 2007, Petrópolis-RJ. 2007.
- Zorzal, E. R.; Silva, L. F.; Bonifácio, J. P. V.; Cardoso, A.; Kirner, C.; Lamounier Júnior, E. Visualização de Informações em Ambientes de Realidade Virtual e Aumentada.

- In: WRVA'07 - Workshop de Realidade Virtual e Aumentada, 2007, Itumbiara-GO. Anais - WRVA'07 - Workshop de Realidade Virtual e Aumentada, 2007.
- Zorzal, E. R.; Silva, L. F.; Cardoso, A.; Kirner, C.; Lamounier Júnior, E.; Yamanaka, K. Realidade Virtual e o Algoritmo de Busca Tabu Aplicados ao Problema de Carregamento de Veículos. In: IX Symposium on Virtual and Augmented Reality, 2007, Petrópolis-RJ. 2007.
- Zorzal, E. R.; Buccioli, A. A. B.; Cardoso, A.; Kirner, C.; Lamounier Júnior, E. Usando Realidade Aumentada para visualização de Informações de Tráfego em Redes de Computadores. In: WRA2006 - III Workshop sobre Realidade Aumentada, 2006, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. 2006.
- Zorzal, E. R.; Cardoso, A.; Kirner, C.; Lamounier Júnior, E. O Uso da Realidade Virtual e Aumentada na Interação e Visualização de Informações em Redes de Computadores. In: III Simpósio Brasileiro de Sistemas de Informação, 2006, Curitiba. 2006.
- Zorzal, E. R.; Cardoso, A.; Kirner, C.; Lamounier Júnior, E. Realidade Aumentada Aplicada em Jogos Educacionais. In: V Workshop de Educação em Computação e Informática do Estado de Minas Gerais - WEIMIG, 2006, Ouro Preto. 2006.
- Zorzal, E. R.; Kirner, C.; Cardoso, A.; Lamounier Júnior, E. Viabilizando o Desenvolvimento de Jogos Espaciais com Realidade Aumentada. In: SEMISH – XXXIII Seminário Integrado de Software e Hardware, 2006, Campo Grande - MS. 2006.
- Zorzal, E. R.; Silva, L. F.; Cardoso, A.; Kirner, C.; Lamounier Júnior, E.; Yamanaka, K. A Visualização de Dados por meio de Realidade Virtual e o Algoritmo de Busca Tabu aplicados ao Problema de Carregamento de Veículos. In: III Simpósio Brasileiro de Sistemas de Informação, 2006, Curitiba. 2006.
- Zorzal, E. R.; Silva, L. F.; Cardoso, A.; Kirner, C.; Lamounier Júnior, E.; Yamanaka, K. Associando Realidade Virtual e o Algoritmo de Busca Tabu para o Problema de Carregamento de Veículos. In: II Workshop de Aplicações de Realidade Virtual - WARV, 2006, Pernambuco. 2006.

• Capítulos de Livros

- Zorzal, E. R.; Cardoso, A.; Kirner, C. Realidade Virtual e Realidade Aumentada Aplicadas à Visualização de Informação. In: Teichrieb, V.; Nunes, F. L. S.; Machado, L. S.; Tori, R. (Org.). Realidade Virtual e Aumentada na Prática. Recife, 2008, p. 147-164.

Zorzal, E. R.; Silva, L. F.; Cardoso, A.; Kirner, C.; Lamounier Júnior, E. Visualização com Realidade Virtual e Aumentada. In: Kirner, C.; Siscoutto, R. (Org.). Realidade Virtual e Aumentada: Conceitos, Projeto e Aplicações. 2007.

• **Texto em Revista**

Zorzal, E. R. Muito além da realidade (Entrevista). Revista Exame, edição 914, 20 de março de 2008. p. 144-146, Editora Abril, SP. 2008.

RESUMO

ZORZAL, Ezequiel R. *Estratégia para o Desenvolvimento de Aplicações Adaptativas de Visualização de Informações com Realidade Aumentada*, Uberlândia, Faculdade de Engenharia Elétrica – UFU, 2009.

Palavras-Chave: Realidade Aumentada, Visualização de Informações, Sistemas Adaptativos.

O uso de técnicas de Visualização de Informação, por meio de recursos computacionais, permite converter dados e apresentá-los visualmente ao usuário por meio de imagens ou outros estímulos sensoriais de forma que possam ser melhor compreendidos. Estudos atuais apresentam a importância de desenvolver sistemas de Visualização de Informação que se adaptem ao nível de conhecimento prévio do usuário, para que o mesmo possa, eficazmente, entender a informação visualizada. Esta situação também contribui para que a visualização seja enriquecida com princípios de outras áreas relevantes, a fim de desenvolver representações de dados que reforcem a experiência perceptiva e cognitiva do usuário. A potencialidade futura desta tecnologia está especialmente em ambientes em que as informações se façam presentes, onde literalmente as informações serão sentidas por meio da ativação de todos os nossos sentidos. Isso motiva a pesquisa e o desenvolvimento de aplicações adaptativas de Visualização de Informações com Realidade Aumentada, estratégias de desenvolvimento e arquiteturas para aplicações dessa categoria. Apresentam-se, neste documento, metodologias utilizadas no desenvolvimento de aplicações adaptativas de Visualização de Informação com Realidade Aumentada e uma arquitetura para integrar tais aplicações. O presente trabalho aborda e fundamenta tais metodologias por meio da descrição de trabalhos de pesquisa nas áreas correlatas, desenvolvimento de uma aplicação no setor agropecuário e realização de testes com usuários para validar a abordagem.

ABSTRACT

ZORZAL, Ezequiel R. *Strategy to Development of Adaptive Application of Information Visualization with Augmented Reality*, Uberlândia, University of Electric Engineering – UFU, 2009.

Keyword: Augmented Reality, Information Visualization, Adaptive Systems.

The use of techniques for Information Visualization, by means of computational resources, allows converting data and presenting them visually to the user by means of images or other sensory stimuli in a way that can be better understood. Current studies show the importance of developing systems of information display that can adjust the level of prior knowledge of the user, so that it can, effectively, understand the information displayed. This contributes to the view that is enriched with the principles of other relevant areas in order to develop representations of data that enhance perceptual and cognitive experience of the user. The future potentiality of this technology takes place especially in environments where information is present and will be literally felt through the activation of all our senses. This motivates not only the research and development of adaptive applications to Information Visualization with Augmented Reality, but also development strategies and architectures for applications in this category. This Thesis presents computational methodologies used in the development of adaptive applications to the Information Visualization with Augmented Reality and an architecture for integrating these applications, yet, the development of visualization techniques, interaction and adaptation that may be included in such applications. This work addresses and supports such methodologies by the means of the description of the state of the art of research in related areas, the study of a case applied in the agricultural sector and the presentation of experimental tests with users to validate the approach.

SUMÁRIO

<i>LISTA DE FIGURAS.....</i>	<i>1</i>
<i>LISTA DE TABELAS.....</i>	<i>4</i>
<i>LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....</i>	<i>5</i>
<i>1. Introdução.....</i>	<i>6</i>
1.1. Caracterização do tema da pesquisa.....	6
1.2. Objetivos e metas.....	12
1.3. Estrutura do trabalho.....	14
<i>2. Realidade Aumentada</i>	<i>16</i>
2.1. Conceitos e definições.....	16
2.2. Tipos de sistemas de Realidade Aumentada.....	17
2.3. Técnicas de interação com Realidade Aumentada	19
2.4. Considerações finais	21
<i>3. Visualização de Informação.....</i>	<i>22</i>
3.1. Fundamentos da Visualização de Informação	22
3.2. Visualização efetiva	24
3.3. Representação de dados: tipos de dados de domínio.....	27
3.4. Técnicas de Visualização de Informação	29
3.5. Técnicas de interação	30
3.6. Visualização de Informações com Realidade Aumentada	31
3.7. Considerações Finais	32
<i>4. Sistemas Adaptativos.....</i>	<i>33</i>
4.1. Considerações sobre Sistemas Adaptativos.....	33
4.2. Arquitetura básica dos Sistemas Adaptativos.....	34
4.3. Interfaces Adaptativas.....	35
4.4. Espaço para Adaptação.....	36
4.5. Modelagem do Usuário.....	39

4.6. Considerações Finais	40
5. Sistemas Correlatos.....	41
5.1. Terminologia e critérios para a pesquisa.....	41
5.2. Ferramentas para desenvolver soluções de Realidade Aumentada	43
5.2.1. ARToolKit.....	43
5.2.2. ARToolKit Plus	44
5.2.3. ARTag	44
5.2.4. DART	45
5.2.5. OSGART	46
5.3. Aplicações de Sistemas Adaptativos.....	47
5.3.1. AdaptWeb.....	47
5.3.2. AHA!	48
5.3.3. ATLAS	49
5.3.4. MEDEA.....	51
5.3.5. NetCoach	52
5.3.6. SAMI	53
5.3.7. AWE3D	54
5.4. Sistemas de Visualização de Informação	54
5.4.1. Ferramenta Colaborativa para Visualização Tridimensional de Dados	55
5.4.2. InfoVis.....	56
5.4.3. 3D Active Chart.....	57
5.5. Aplicações de Sistemas Adaptativos com Realidade Aumentada.....	57
5.5.1. Sistema de Realidade Aumentada com técnicas de Hipermissão Adaptativa.....	58
5.6. Aplicação de Visualização de Informação com Sistemas Adaptativos	58
5.6.1. Framework para visualização adaptativa	58
5.7. Sistemas de Visualização de Informação com Realidade Aumentada	59
5.7.1. Sistemas de sensores Wireless Biométricos com Realidade Aumentada.....	59
5.7.2. ARVino.....	61
5.7.3. Visualização de Dados da Rigidez de Tecidos Humanos	62
5.7.4. Visualização de Dados Geográficos com Realidade Aumentada	63
5.7.5. Sistema de Visualização dos Dados de sequência das Rovers.....	64
5.7.6. Visualização de Dados Médicos com Realidade Aumentada	65
5.7.7. Visualização dos Dados de Aviação com Realidade Aumentada	66
5.7.8. Dinâmica dos Fluidos com Realidade Aumentada	67
5.7.9. AR Trace Route	69
5.7.10. MVC-RA	70
5.7.11. DataVis-AR	72

5.7.12.	Meta3D++.....	73
5.8.	Análise das aplicações correlatas	74
5.9.	Considerações finais	80
6.	<i>Estratégia e Arquitetura para Aplicações do Contexto.....</i>	81
6.1.	Estratégia para o desenvolvimento	81
6.1.1.	Estruturação do modelo de domínio	82
6.1.2.	Estruturação do modelo de interface.....	83
6.1.3.	Estruturação do modelo de Adaptação	85
6.2.	Arquitetura das aplicações do contexto	89
6.2.1.	Pacote Domínio	90
6.2.2.	Pacote Interface	92
6.2.3.	Pacote Adaptação	93
6.3.	Considerações Finais	94
7.	<i>Técnicas Desenvolvidas para Interação, Visualização e Adaptação</i>	96
7.1.	Técnicas de Interação	96
7.1.1.	Posição do marcador.....	96
7.1.2.	Oclusão	99
7.1.3.	Orientação.....	101
7.1.4.	Colisão e Distância entre marcadores	103
7.1.5.	Combinação de marcadores.....	105
7.1.6.	Comandos de voz.....	106
7.1.7.	Acionamento de Comandos via teclado.....	107
7.2.	Técnicas de Visualização	108
7.2.1.	Gráficos auxiliares	109
7.2.2.	Ícones.....	109
7.2.3.	Rótulos.....	110
7.3.	Métodos e Técnicas de Adaptação.....	111
7.3.1.	Classificador bayesiano	112
7.3.2.	Conteúdo e Apresentação Adaptativa	114
7.3.3.	Navegação Adaptativa	115
7.4.	Considerações Finais	116
8.	<i>Sistema Adaptativo para Visualização de Informações com Realidade Aumentada ..</i>	117
8.1.	Estudo de caso	117
8.1.1.	O Sistema SAVIRA.....	118

8.2. Análise do estudo	126
8.2.1. Experimentos realizados.....	127
8.2.2. Resultados e limitações.....	129
8.3. Considerações Finais	135
9. Considerações Finais.....	136
9.1. Contribuições	138
9.2. Trabalhos futuros	138
10. Referências Bibliográficas	140
APÊNDICE A – Dez maiores problemas não resolvidos da Visualização de Informação	156
APÊNDICE B – Sinopse das Técnicas de Visualização de Informações.....	158
APÊNDICE C – Termo de consentimento do usuário	169
APÊNDICE D – Questionário para avaliação de perfil do usuário.....	170
APÊNDICE E – Lista de questões/tarefas utilizada nos ensaios de interação.....	171
APÊNDICE F – Questionário de usabilidade aplicado aos usuários experimentais	172
APÊNDICE G – Questionários sobre a eficácia do sistema	173

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1 - Tela do Virtual Anatomy Explorer - com uso de Realidade Virtual.</i>	8
<i>Figura 2 – A localização da Estratégia perante as três áreas do conhecimento.</i>	13
<i>Figura 3 – Representação das fases da pesquisa.</i>	15
<i>Figura 4 – Manipulação dos objetos virtuais.</i>	16
<i>Figura 5 – Diagrama adaptado e dispositivos do sistema de visão ótica direta.</i>	17
<i>Figura 6 – Diagrama adaptado do sistema de visão direta por vídeo e um modelo de dispositivo.</i>	18
<i>Figura 7 - Diagrama adaptado e dispositivo do sistema de visão por vídeo baseado em monitor.</i>	18
<i>Figura 8 – Ambiente de projeção.</i>	19
<i>Figura 9 – AR Star Wars: Uso de interação por controle virtual.</i>	20
<i>Figura 10 - Modelo de Referência para Visualização.</i>	23
<i>Figura 11 – Representação dos dados de alunos.</i>	24
<i>Figura 12 – Diagrama de Minard.</i>	25
<i>Figura 13 – Metáfora: Do banquete à migalha.</i>	27
<i>Figura 14 - Arquitetura básica dos Sistemas Adaptativos.</i>	34
<i>Figura 15 - Espaço de adaptação em sistemas de Hipermidia Adaptativa.</i>	37
<i>Figura 16 – Aplicações correlatas à pesquisa.</i>	42
<i>Figura 17 – Uso do ARToolKit: MagicBook.</i>	44
<i>Figura 18 – Aplicações com ARToolKitPlus.</i>	44
<i>Figura 19 – Sistema Magic Mirror.</i>	45
<i>Figura 20 – Aplicação com DART.</i>	46
<i>Figura 21 – Aplicativo desenvolvido com OSGART.</i>	46
<i>Figura 22 – Interface do AdaptWeb no modo estruturação de conteúdo.</i>	47
<i>Figura 23 – Arquitetura do AdaptWeb.</i>	48
<i>Figura 24 – Aplicação Interbook utilizando AHA!.</i>	49
<i>Figura 25 – Arquitetura global do AHA!.</i>	49
<i>Figura 26 – Arquitetura do ATLAS.</i>	50
<i>Figura 27 – Arquitetura do MEDEA.</i>	51
<i>Figura 28 – Interface da aplicação NetCoach.</i>	52
<i>Figura 29 - Interface do SAMI.</i>	53
<i>Figura 30 - Interface da loja virtual.</i>	54
<i>Figura 31 - Interface do software.</i>	55
<i>Figura 32 - Arquitetura do software.</i>	56
<i>Figura 33 - Ambiente do InfoVis.</i>	56
<i>Figura 34 - Interface do 3d Active Chart.</i>	57
<i>Figura 35 – Ambiente do sistema.</i>	58
<i>Figura 36 – Ambiente do sistema.</i>	59
<i>Figura 37 – Gráfico utilizado no sistema.</i>	60
<i>Figura 38 – Ambiente do sistema ARVino.</i>	62

<i>Figura 39 – Ambiente do sistema.</i>	63
<i>Figura 40 – Ambiente do sistema.</i>	64
<i>Figura 41 – Modo de visualização com Realidade Aumentada.</i>	65
<i>Figura 42 – Visualização de dados médicos com Realidade Aumentada.</i>	66
<i>Figura 43 – Módulo de visualização com Realidade Aumentada.</i>	67
<i>Figura 44 – Visualização dos Fluidos com Realidade Aumentada.</i>	68
<i>Figura 45 - Ambiente da ferramenta AR TraceRoute.</i>	70
<i>Figura 46 - Arquitetura do Sistema.</i>	71
<i>Figura 47 - Interface do Sistema.</i>	72
<i>Figura 48 - Interface do DataVis-AR.</i>	72
<i>Figura 49 – Arquitetura do DataVis-AR.</i>	73
<i>Figura 50 - Arquitetura do Meta3D++.</i>	74
<i>Figura 51 - Interface do Meta3D++.</i>	74
<i>Figura 52 – Etapas da estratégia.</i>	82
<i>Figura 53 - Arquitetura proposta das aplicações do contexto.</i>	90
<i>Figura 54 – Pacote Domínio.</i>	91
<i>Figura 55 – Pacote Interface.</i>	92
<i>Figura 56 – Pacote Adaptação.</i>	94
<i>Figura 57 - Passos para execução da técnica de posição de marcadores.</i>	97
<i>Figura 58 – Posição do marcador no eixo XY.</i>	98
<i>Figura 59 – Nível de detalhe (LOD – Level of Detail).</i>	99
<i>Figura 60 – Oclusão de marcadores.</i>	100
<i>Figura 61 – Fluxograma para análise de oclusão de marcadores.</i>	100
<i>Figura 62 – Mudança de objetos a partir da orientação do marcador.</i>	101
<i>Figura 63 – Algoritmo para o módulo de tempo.</i>	102
<i>Figura 64 – Passos para execução da técnica de orientação de marcadores.</i>	103
<i>Figura 65 – Fluxograma para determinar a colisão de objetos virtuais.</i>	104
<i>Figura 66 – Colisão de objetos virtuais.</i>	104
<i>Figura 67 – Passos para determinar a combinação de marcadores.</i>	105
<i>Figura 68 – Combinação de marcadores.</i>	105
<i>Figura 69 – Fluxograma referente ao protótipo.</i>	106
<i>Figura 70 – Fluxograma referente à ferramenta suporte.</i>	107
<i>Figura 71 – Comandos via teclado.</i>	108
<i>Figura 72 – Gráfico de linhas (a) e gráficos de barras (b, c).</i>	109
<i>Figura 73 – Exemplo de ícones.</i>	110
<i>Figura 74 – Fluxograma referente à atualização dos anéis em torno do objeto virtual.</i>	110
<i>Figura 75 – Apresentação de rótulos sobre os ícones.</i>	111
<i>Figura 76 - Equações adaptadas para atualização dos parâmetros da Rede Bayesiana.</i>	114
<i>Figura 77 – Mapeamento do cenário para o usuário.</i>	115
<i>Figura 78 – Nível de informação adaptado.</i>	118

<i>Figura 79 – Opções iniciais do sistema.</i>	118
<i>Figura 80 – Cadastro do usuário.</i>	118
<i>Figura 81 – Cenário inicial.</i>	119
<i>Figura 82 – Ícones adaptados ao perfil do usuário.</i>	120
<i>Figura 83 – Marcadores utilizados no sistema.</i>	121
<i>Figura 84 – Informações sobre o usuário.</i>	122
<i>Figura 85 – Foto do perfil não encontrada (Usuário Undefined).</i>	122
<i>Figura 86 – Janela para confirmação da ação.</i>	123
<i>Figura 87 – Cenário inicial com etiquetas (a) e sem etiquetas (b).</i>	123
<i>Figura 88 – Cenário para controle das etiquetas.</i>	124
<i>Figura 89 – Informações modificadas sobre o usuário.</i>	124
<i>Figura 90 – Cenário para visualizar informações utilizando gráficos de barras (a) e linhas (b).</i>	125
<i>Figura 91 – Opção para escolher o perfil do usuário no sistema.</i>	126
<i>Figura 92 – Escala de Usabilidade SUS.</i>	130
<i>Figura 93 – Opinião dos usuários sobre a experiência de interação e os aspectos visuais do sistema.</i>	131
<i>Figura 94 – Opinião dos usuários sobre as dificuldades encontradas ao utilizar o sistema.</i>	133
<i>Figura 95 – Exemplos de gráficos convencionais.</i>	159
<i>Figura 96 - Coordenadas Paralelas.</i>	160
<i>Figura 97 - Matriz de Scatterplots.</i>	160
<i>Figura 98 - Survey Plots.</i>	161
<i>Figura 99 – Radviz.</i>	161
<i>Figura 100 - Coordenadas Paralelas Circulares.</i>	162
<i>Figura 101 – Polyviz.</i>	162
<i>Figura 102 – Deferentes versões da técnica Faces de Chernoff.</i>	163
<i>Figura 103 - Glifos em estrela.</i>	163
<i>Figura 104 - Stick Figures.</i>	164
<i>Figura 105 - Visualizações orientadas a pixel de um conjunto de dados com nove dimensões, utilizando duas formas de distribuição espacial: espiral e por eixos.</i>	164
<i>Figura 106 – Segmentos de Círculo.</i>	165
<i>Figura 107 - Formas de representação em árvores.</i>	166
<i>Figura 108 – Modelos de árvores tradicionais.</i>	166
<i>Figura 109 - Árvores 3D.</i>	168

LISTA DE TABELAS

<i>Tabela 1 – Dificuldades e possíveis soluções relacionadas às áreas correlatas.</i>	<i>11</i>
<i>Tabela 2 – Acuidade de percepção dos atributos visuais.</i>	<i>26</i>
<i>Tabela 3 – Técnicas para apresentação de links.</i>	<i>38</i>
<i>Tabela 4 – Funcionalidades/Características das ferramentas para Realidade Aumentada.</i>	<i>76</i>
<i>Tabela 5 – Funcionalidades/Características das aplicações adaptativas.</i>	<i>77</i>
<i>Tabela 6 – Funcionalidades/Características das aplicações de Visualização de Informação.</i>	<i>78</i>
<i>Tabela 7 – Funcionalidades/Características da aplicação adaptativa com Realidade Aumentada.</i>	<i>78</i>
<i>Tabela 8 – Funcionalidades/Características da aplicação adaptativa com Visualização de Informação.</i>	<i>78</i>
<i>Tabela 9 – Funcionalidades/Características das aplicações de Visualização de Informação com Realidade Aumentada.</i>	<i>79</i>
<i>Tabela 10 – Ícones referentes às funcionalidades do sistema.</i>	<i>120</i>

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

2D - *Bidimensional.*

3D - *Tridimensional.*

API - *Application Programming Interface.*

ARToolKit - *Augmented Reality Toolkit.*

CAD - *Computer-Aided Design.*

GIS - *Geographic Information System.*

HMD - *Head Mounted Display.*

HTML - *HyperText Markup Language.*

JSP - *JavaServer Pages.*

LCD - *Liquid Crystal Display.*

PDA - *Personal Digital Assistant.*

PHP - *Hypertext Preprocessor.*

SQL - *Structured Query Language.*

SUS - *System Usability Scale.*

VRML - *Virtual Reality Modeling Language.*

XML - *Extensible Markup Language.*

Introdução

1.1. Caracterização do tema da pesquisa

De acordo com a etimologia da palavra “informação”, sua origem provém do latim *informationem*, que significa “delinear, conceber idéia” (Houaiss and Villar, 2001). O seu conceito carrega uma diversidade de significados que são aplicáveis a eventos que variam do nível cotidiano ao técnico. Por exemplo, informação pode ser definida como o estado de um sistema de interesse, onde a mensagem é a informação materializada. Floridi (2005) define informação como qualquer tipo de padrão que influencia a formação ou transformação de outros padrões. Já Bekenstein (2003) enuncia informação como o resultado do processamento, manipulação e organização de dados de tal forma que represente um acréscimo ao conhecimento da pessoa que a recebe. As palavras informação e dados são intercambiáveis em muitos contextos. Todavia não são sinônimos. Por exemplo, de acordo com a observação de Gadomski (1993), dados referem-se a tudo que pode ser processado e informação refere-se a dados que descrevem um domínio físico ou abstrato.

No final do século XX ocorreu a denominada explosão informacional que se caracteriza pela aceleração dos processos de produção e a disseminação da informação e do conhecimento. O aumento da demanda de informações ocorrera principalmente devido ao desenvolvimento da tecnologia de comunicação; ao avanço dos equipamentos de aquisição de imagens, de dados e sinais; e ao surgimento de computadores que permitem simular sistemas cada vez mais complexos.

A sobrecarga de informações dificulta o processo de análise, compreensão e utilização de dados. Por exemplo, é plausível ressaltar que tomar uma decisão correta em qualquer área do conhecimento com uma enorme quantidade de dados e pouco tempo quase sempre é uma tarefa difícil de realizar. O computador pode, em poucos segundos, recuperar e processar informações que um ser humano demoraria muito tempo para fazer. Entretanto, muitas destas informações podem ser irrelevantes para o usuário, ou as informações consideradas úteis podem simplesmente ser perdidas, por desconhecimento do relacionamento entre dados, por parte do usuário. Fatos como estes motivaram diversas áreas de estudo a pesquisar novos paradigmas para melhorar a representação destas informações (Mackinlay, 2000).

Uma abordagem advinda dessas pesquisas é a aplicação de técnicas de Visualização de Informações. Essas técnicas estudam formas de transformar dados abstratos em imagens reais, de modo a facilitar o seu entendimento e/ou ajudar na descoberta de novas informações contidas nestes dados (Do Nascimento, 2005). O objetivo final deste processo é auxiliar no entendimento de um assunto, o qual, sem uma visualização, seria mais difícil de ser compreendido.

Para desenvolver sistemas de visualização, é necessário considerar tanto a melhor forma de mapear informações (para uma representação gráfica que facilite a sua interpretação pelos usuários), quanto fornecer meios que permitam delimitar a quantidade de informações que estes recebem e possibilitar a interação e manipulação da representação gráfica do conjunto de dados. Além disso, uma das características importantes que um sistema de visualização deve possuir é a organização da informação, de modo que, a partir dos dados fornecidos pelo usuário, seja gerada automaticamente uma visualização e uma interface¹ para fazer a sua exploração (Carmo, 2002).

As representações gráficas utilizadas em sistemas de visualização podem ser distribuídas em três classes, considerando a dimensão do espaço onde os elementos geométricos utilizados estejam situados: unidimensional, bidimensional ou tridimensional (Freitas, 2001).

Embora sendo pouco comuns, as representações gráficas unidimensionais poderiam ser usadas, por exemplo, para representar um espectro contínuo, variando da cor azul até a cor vermelha, o que representaria uma transformação natural de uma temperatura fria (azul) para uma temperatura quente (vermelha) (Gallagher, 1994). As representações gráficas dispostas de forma bidimensional utilizam parâmetros visuais disponíveis em duas dimensões (ex: cor, tamanho, posição, forma) para representar as características e propriedades dos dados. As representações gráficas tridimensionais acrescentam uma nova dimensão à representação dos dados, o que garante usar, de forma mais eficiente, o espaço limitado de visualização da tela do computador. Esta é uma característica importante quando a quantidade de informação a ser visualizada é extensa.

¹ Fronteira que define a forma de comunicação entre duas entidades. A interface pode ser entendida como uma abstração que estabelece a forma de interação da entidade com o mundo exterior, por meio da separação dos métodos de comunicação externa dos detalhes internos da operação, permitindo que esta entidade seja modificada sem afetar as entidades externas que interagem com ela. Uma interface também pode promover um serviço de tradução para entidades que não falam a mesma linguagem, como no caso de humanos e computadores (Scapin, 1990).

Outras características importantes das representações gráficas tridimensionais é a adição de novos parâmetros visuais (ex: material, luminosidade, transparência) e novas técnicas de interação (ex: rotações geométricas tridimensionais, navegação) que permitem aos utilizadores explorar e manipular sistemas de informação grandes e complexos.

Além disso, as aplicações que utilizam o espaço tridimensional podem causar maior impacto visual e despertar o interesse em diversos tipos de usuários, não somente pela maneira que os dados são representados na interface gráfica, mas também por propiciar outras formas de interação (Ware and Frank, 1996; Robertson et al., 1991; Fairchild et al., 1988). Entre as estratégias de visualização tridimensional de informações, encontra-se a utilização de ambientes de Realidade Virtual² e Realidade Aumentada³. Como exemplo, a Figura 1 apresenta uma tela do projeto “*Virtual Anatomy Explorer*” com visualização da informação referente aos órgãos do corpo humano, baseado no projeto “*Visible Human*”.



Figura 1 - Tela do *Virtual Anatomy Explorer* - com uso de Realidade Virtual (Le and Wannamaker, 2002).

Uma das dificuldades encontradas em sistemas de Visualização de Informação é que seus usuários são tratados de maneira uniforme, ou seja, eles são julgados sem que se leve em consideração o seu nível de conhecimento prévio e seus objetivos a serem alcançados no sistema. Assim, todos os usuários do sistema são tratados de forma única, independentes de seus objetivos e de possuir ou não os pré-requisitos necessários para utilizar o sistema.

Os sistemas de visualização tradicionais, que apresentam conteúdos e ligações estáticas, se limitam a apresentar o mesmo conteúdo de informações e estrutura navegacional para todos os tipos de usuários. Sistemas desta categoria não consideram as características individuais e o caminho percorrido pelo usuário na aplicação (Brusilovsky, 2001; De Bra et al., 2000; Calvi and De Bra, 1998). Nos casos, onde o conteúdo dos pontos de acesso é sempre o mesmo, as informações podem ser redundantes ou não serem totalmente

² Segundo Kirner (1997), pode-se definir Realidade Virtual como uma forma das pessoas visualizarem, manipularem e interagirem com computadores e dados extremamente complexos, na qual idéias como imersão, interação e envolvimento com o ambiente virtual são consideradas básicas e fundamentais.

³ Os conceitos sobre Realidade Aumentada podem ser consultados no Capítulo 2 desta Tese.

compreendidas, visto que não há nenhuma garantia de que o usuário tenha acessado um conteúdo que seja prévio e necessário (De Aragão, 2004).

A abordagem tradicional para a produção de sistemas de visualização consiste na criação de caminhos bem definidos para que os usuários possam navegar, estabelecendo um mapa conceitual sobre um determinado domínio. Neste procedimento, é sugerido que apenas as ligações mais significativas sejam consideradas (Isakovitz et al., 1995). Além disso, segundo Bodner and Chignell (1999), nestes sistemas não é possível antecipar todos os caminhos de forma singular para cada tipo de usuário. Estabelecer ligações entre todas as possibilidades para domínios complexos é uma tarefa difícil, podendo levar o usuário facilmente à condição de desorientação no espaço de navegação. Assim, os usuários são obrigados a navegar por caminhos pré-estabelecidos e entender o modelo mental estabelecido pelo autor do sistema. Isto acontece porque o autor do sistema de visualização, ao definir uma ligação entre dois níveis de interesse em detrimento de outras possibilidades, faz uma suposição sobre os conhecimentos prévios e interesses do usuário, quando um ponto de acesso específico é acessado (De Aragão, 2004).

Por sua vez, a ajuda navegacional por meio de mapas também é limitada. Um sistema de visualização tradicional não registra informações necessárias para identificar as partes da estrutura de ligações que são mais importantes para o usuário. Conhecimentos sobre o domínio, o usuário e a interação com o sistema podem ser usadas para filtrar ou recomendar as ligações mais significativas (De Bra et al., 2000). Portanto, a capacidade de adaptação em um ambiente de visualização torna-se necessária por dois motivos principais: atender a uma grande variedade de usuários com objetivos, interesses, preferências, experiências e conhecimentos distintos sobre o domínio coberto pelo sistema; e, para proteger usuários do problema de perder-se (desorientação) no ambiente, restringindo-os por meio da sugestão das ligações mais expressivas (Brusilovksy, 1996).

Deste modo, o desenvolvimento de sistemas ergonômicos, com boa usabilidade e adaptativos, tende a impactar as ações no sentido da eficiência e produtividade na interação homem-máquina, fazendo com que o usuário atinja seus objetivos com menos esforço e mais satisfação (Silva and Da Silva, 2007).

Além do contexto apresentado, a Visualização de Informação apresenta outros desafios a serem superados, tanto na consolidação de suas técnicas e conceitos, quanto na utilização de seus resultados por outras áreas. Efetuar pesquisas na direção desses desafios implica no aperfeiçoamento da área e, por consequência, traz melhorias ao processo de gestão de informação (Da Silva, 2007).

Chen (2005) menciona o que ele considera os dez⁴ maiores problemas não resolvidos da Visualização de Informação, dentre eles, como mencionado anteriormente, a necessidade de desenvolver sistemas de Visualização de Informação que se adaptem ao nível de conhecimento prévio que o usuário possui para entender a informação visualizada. Outro problema, não menos importante, é estudar a estética da representação visual e seu impacto no processo de compreensão dos dados representados.

Aliado a este contexto, está o fato de que a visualização deve ser enriquecida com princípios de outras áreas relevantes, a fim de desenvolver representações de dados que reforcem a experiência perceptiva e cognitiva do usuário. O grande potencial para o futuro desta tecnologia está especialmente em ambientes que permitem a imersão⁵, onde literalmente as informações serão sentidas por meio da ativação de todos os nossos sentidos (Alexandre and Tavares, 2007).

O uso de técnicas de Realidade Aumentada permite a exploração de todos os sentidos humanos (Azuma, 2001). Entretanto, a maior parte dos trabalhos desenvolvidos ainda direciona o foco apenas para o aumento da sensação visual, porém são encontrados trabalhos aplicados aos outros sentidos (tato, audição, etc.), com resultados tão bons quanto os obtidos através da sensação visual. Podem-se citar os seguintes exemplos: sistemas compostos por dispositivos hápticos para Realidade Aumentada (Knoerlein et al., 2007; Walairacht et al., 2001); sistemas constituídos por campos sonoros tridimensionais (Zhou et al., 2004; Mynatt et al., 1997); sistemas que emitem odor por um canhão de ar, atuando diretamente no sentido do olfato (Nakamoto and Min, 2007; Yamada et al., 2006; Yanagida et al., 2004) e sistemas com dispositivos que ajudam na sensação gustativa (Hashimoto et al., 2006; Maynes-Aminzade, 2005).

A Realidade Aumentada pode facilitar a visualização e manipulação do objeto de estudos, reproduzindo os dados complexos sob a forma de objetos tridimensionais, permitindo, dessa forma, aumentar a capacidade de percepção do usuário. Além disso, esta tecnologia permite interações tangíveis mais fáceis e naturais (quando aplicadas de forma eficaz), sem o uso de equipamentos especiais. Devido a esses fatores, a Realidade Aumentada

⁴ A lista completa dos dez maiores problemas mencionada por Chen (2005) pode ser analisada no Apêndice A desta tese.

⁵ Espaços que utilizam sistemas computacionais para promover um estado de ilusão perceptiva. A imersão é usada como um estágio para extinguir a diferença entre realidade e a representação e como instrumento de persuasão da mente nas instalações artísticas midiáticas fazendo a passagem entre o realismo e o fantasioso (Araujo, 2005).

vem sendo considerada uma possibilidade concreta de se tornar a próxima geração de interface popular, a ser usada nas mais variadas aplicações em espaços internos e externos (Kirner and Siscoutto, 2007). Quando associada às técnicas de Adaptabilidade e Visualização de Informações, pode propiciar o desenvolvimento de interfaces mais persuasivas e aderentes ao usuário. Ao mesmo tempo, o usuário tem a possibilidade de combinar os modelos de representações virtuais a um dado ambiente real diretamente relacionado a estes dados. Esta associação pode contribuir com o processo de entendimento das informações resgatadas e apresentadas, uma vez que o usuário pode acessar informações virtuais de interesse no seu ambiente de domínio.

Motivou o desenvolvimento desta Tese, o fato de que, até o momento, não foram encontrados trabalhos publicados relacionados às aplicações de Visualização de Informação com Realidade Aumentada que fazem uso de técnicas adaptativas. Além disso, a elaboração de uma estratégia para o desenvolvimento unificado de aplicações que envolvem tais áreas do conhecimento pode contribuir na resolução de uma série de problemas relacionados ao contexto apresentado. Em síntese, a Tabela 1 apresenta algumas dificuldades e possíveis soluções relacionadas às áreas de conhecimento desta pesquisa.

Tabela 1 – Dificuldades e possíveis soluções relacionadas às áreas correlatas.

Dificuldade	Solução possível
Sobrecarga de informação e dificuldade no processo de análise, compreensão e utilização de dados (Edmunds and Morris, 2000).	Utilizar técnicas de Visualização de Informações. Transformar os dados abstratos em imagens para facilitar o seu entendimento e ajudar na descoberta de novas informações.
Espaço para visualização restrito e marcas visuais limitadas a um substrato visual bidimensional (Schimiguel, 2002).	Usar representações tridimensionais para acrescentar uma nova dimensão à representação dos dados e tornar o espaço de visualização ilimitado.
Necessidade de associar a representação visual com o ambiente natural relacionado a esses dados (Moore, 1999).	Utilizar técnicas de Realidade Aumentada para combinar as representações visuais com o ambiente real de onde se originou os dados.
Usuários com objetivos, preferências, interesses, experiências e conhecimentos diferentes sobre o domínio coberto pelo sistema (De Aragão, 2004).	Empregar técnicas de adaptabilidade ao sistema para que o mesmo considere as características individuais e o caminho percorrido pelo usuário na aplicação.
Desorientação dos usuários no ambiente, o que pode ocasionar a desmotivação dos mesmos e dificuldades na realização de tarefas (Brockmann et al., 1989).	Usar técnicas de adaptabilidade para organizar as informações e orientar o usuário de acordo com seu perfil.

A motivação desta pesquisa relaciona-se ainda com as seguintes perspectivas:

- As representações visuais tridimensionais melhoram o desempenho do usuário para visualização de grandes conjuntos de informações (Buriol and Scheer, 2007; Bayyari and Tudoreanu, 2006; Ware and Franck, 1996);
- Os sistemas de Realidade Aumentada permitem que o usuário decida sobre os ambientes, compondo cenas de imagens tridimensionais geradas por computador misturadas com imagens reais, aumentando as informações do cenário a fim de produzir uma sensação de que tais informações se façam presentes em um único ambiente (Vicentini, 2006). Ademais, a possibilidade de interação entre imagens reais e virtuais, que ocorre por meio desta tecnologia, pode oferecer, ao usuário, melhores informações sensitivas, facilitando a associação e a reflexão sobre uma dada situação. Por fim, os recentes investimentos das indústrias na produção de *hardware*, *software* e dispositivos de Entrada/Saída têm permitido o crescimento acelerado da Realidade Virtual e Aumentada nos últimos anos e, indicado perspectivas muito promissoras para os diversos segmentos vinculados à área (Kirner, 2003);
- Sistemas adaptativos permitem modificar o seu comportamento dinamicamente, em resposta a variações detectadas na execução das tarefas, com a finalidade de se adaptarem aos interesses do usuário, facilitar a visualização e o acesso às informações (Chittaro and Ranon, 2000; Frery et al. 2002; Santos and Osório, 2004). A necessidade de desenvolver tais sistemas é um fato (Chen, 2005), visto que são realmente úteis e podem aumentar a usabilidade das interfaces e a satisfação dos usuários. Na literatura científica, somente nos últimos anos começaram a surgir pesquisas nesta área, o que permite observar o enorme potencial de crescimento.

1.2. Objetivos e metas

Considerando os fatores e dados supracitados que norteiam as motivações desta pesquisa, o objetivo deste trabalho consiste em:

- 1) Propor, a partir de um estudo sobre o estado da arte e as necessidades de usuários, uma estratégia computacional para o desenvolvimento de aplicações adaptativas de Visualização de Informação com Realidade Aumentada;
- 2) Elaborar uma arquitetura para integrar tais aplicações;
- 3) Criar um conjunto de técnicas de visualização, interação e adaptação que podem ser inseridas nas aplicações em contexto;

- 4) Avaliar e associar métodos adaptativos à tecnologia de Realidade Aumentada e Visualização de Informações; e
- 5) Apresentar a viabilidade do uso da associação destas tecnologias, a fim de contribuir para o avanço das pesquisas na área.

A abordagem desenvolvida enquadra-se no âmbito de três grandes áreas: Visualização de Informação, Realidade Aumentada e Sistemas Adaptativos, conforme apresentado na Figura 2.



Figura 2 – A localização da Estratégia perante as três áreas do conhecimento.

Para atingir o objetivo proposto, foram adotadas as seguintes metas:

- Levantar as necessidades e potencialidades de diferentes perfis de usuários em termos de visualização com Realidade Aumentada;
- Pesquisar ambientes de desenvolvimento e *software* de Visualização de Informações com Realidade Aumentada e investigar suas respectivas funcionalidades, juntamente às técnicas utilizadas para o desenvolvimento;
- Criar uma arquitetura e estratégia para desenvolver aplicações adaptativas de Visualização de Informações com Realidade Aumentada e aplicá-la a um estudo de caso para concretizar e viabilizar testes do modelo teórico concebido.
- Realizar testes e validar a abordagem, por meio de um estudo de caso com vários tipos de informações e um único ambiente. Pode-se analisar, por exemplo, os dados de uma fazenda sob o ponto de vista de diversos usuários: proprietário (empregados), veterinário (rebanhos e alimentos), engenheiro agrônomo (terreno, plantações e pragas) e engenheiro florestal (reservas florestais). Cada um destes usuários necessita e busca uma informação diferente no mesmo ambiente. É desejável que o modelo desenvolvido apresente um ambiente em que as informações dispostas se adaptem aos interesses dos usuários à medida que os mesmos interajam com o ambiente.

As metas, alcançadas, foram divididas em quatro etapas, a saber:

- Etapa 1: Pesquisar sistemas de Visualização de Informações com Realidade Aumentada e, investigar suas respectivas funcionalidades e as técnicas utilizadas para o desenvolvimento. Nesta etapa, foram analisados alguns trabalhos existentes em relação às suas funcionalidades, ao tipo de interações permissíveis e a ergonomia da interface;
- Etapa 2: Investigar métodos de adaptação que podem ser usados em ambientes de Realidade Aumentada com Visualização de Informações;
- Etapa 3: Elaborar e desenvolver uma estratégia e arquitetura para unificar aplicações adaptativas de Visualização de Informação com Realidade Aumentada.
- Etapa 4: Implementar um estudo de caso com a abordagem proposta, com informações resgatadas do setor agrícola, e avaliar os quesitos de usabilidade oferecidos pelo sistema.

1.3. Estrutura do trabalho

Este trabalho está estruturado em nove capítulos. O Capítulo 1, que constitui sua introdução, contextualiza-se o tema abordado e desenvolvem-se os seguintes tópicos: caracterização do tema, motivação da pesquisa e descrição dos objetivos.

O Capítulo 2 apresenta conceitos sobre os diversos aspectos relacionados à Realidade Aumentada, onde são abordadas as definições, os tipos de sistemas para visualização utilizado nesta tecnologia e as técnicas de interação com Realidade Aumentada.

No Capítulo 3 são apresentados os conceitos sobre Visualização de Informação, visualização efetiva, as formas de representação dos dados e são discutidas as técnicas de visualização e interação deste campo de pesquisa.

No Capítulo 4 são apresentados os conceitos sobre Sistemas e Interfaces Adaptativas, a descrição de uma arquitetura padrão para sistemas desta categoria, o espaço para adaptação e as características da modelagem do usuário.

O Capítulo 5 apresenta uma série de aplicações correlatas às áreas de pesquisa envolvidas neste trabalho.

O Capítulo 6 apresenta a proposta de estratégia para desenvolvimento de aplicações adaptativas de Visualização de Informação com Realidade Aumentada e descreve a proposta de uma arquitetura para integrar tais aplicações.

O Capítulo 7 apresenta a descrição e os detalhes de implementação dos métodos e técnicas desenvolvidas para aplicações do contexto estudado neste trabalho.

O Capítulo 8 mostra o estudo de caso aplicado e suas respectivas análises.

Finalmente, no Capítulo 9 são apresentadas as considerações finais desta pesquisa e discutidos os trabalhos futuros.

A Figura 3 mostra uma representação elaborada para visualizar e compreender melhor as etapas da pesquisa e suas partes. A etapa epistemológica é apresentada no Capítulo 1; nos Capítulos 2, 3, 4 encontram-se os principais referenciais teóricos e, no Capítulo 5, registram-se as aplicações correlatas deste trabalho. No Capítulo 6 são apresentados a proposição da estratégia e da arquitetura. Os métodos e técnicas desenvolvidas neste trabalho são descritos no Capítulo 7. O estudo de caso realizado está disposto no Capítulo 8. Por fim, no Capítulo 9, são apresentadas as considerações finais e os trabalhos futuros que compõe a etapa conclusiva da pesquisa.



Figura 3 – Representação das fases da pesquisa.

Realidade Aumentada

Este capítulo apresenta uma visão geral dos conceitos e definições de Realidade Aumentada, os tipos de sistemas para visualização e as técnicas de interação utilizadas nas aplicações desta tecnologia.

2.1. Conceitos e definições

Realidade Aumentada é a inserção de objetos virtuais no ambiente físico, mostrada ao usuário, em tempo real, com o apoio de algum dispositivo tecnológico, usando a interface do ambiente real, adaptada para visualizar e manipular os objetos reais e virtuais (Kirner and Kirner, 2007). A Realidade Aumentada aplica-se em todos os sentidos humanos (Azuma, 2001) e proporciona ao usuário uma interação segura, sem necessidade de treinamento, uma vez que ele pode trazer para o seu ambiente real objetos virtuais, incrementando e aumentando a visão que ele tem do mundo real (Kirner and Zorzal, 2005). Isto é obtido por meio de técnicas de Visão Computacional e de Computação Gráfica/Realidade Virtual, o que resulta na sobreposição de objetos virtuais com o ambiente real (Billinghurst, 2001; Boman, 1995; Milgram 1994).

Considerando o sentido da visão, além de permitir que objetos virtuais possam ser introduzidos em ambientes reais, a Realidade Aumentada também proporciona ao usuário o manuseio desses objetos com as próprias mãos, possibilitando uma interação natural e atrativa com o ambiente (Billinghurst, 2001; Santin, 2004; Zhou, 2004).

A Figura 4 mostra uma aplicação de Realidade Aumentada, onde é permitida a manipulação dos objetos virtuais.

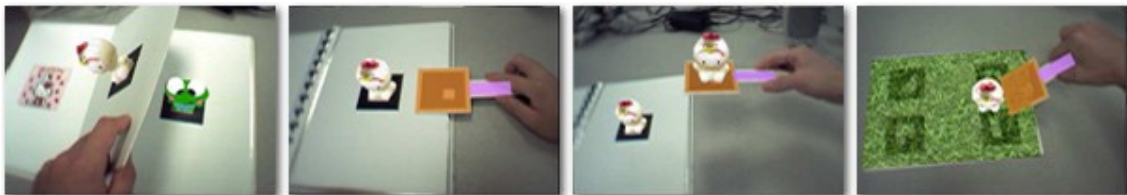


Figura 4 – Manipulação dos objetos virtuais (Zhou, 2004).

Para que os objetos virtuais façam parte do ambiente real e sejam manuseados deve-se utilizar um *software* com capacidade de visão do ambiente real e de posicionamento dos

objetos virtuais, além de acionar dispositivos tecnológicos apropriados para Realidade Aumentada.

De acordo com Tori et al. (2006), o *hardware* de Realidade Aumentada pode usar dispositivos de Realidade Virtual, mas tende a não obstruir as mãos, que devem atuar naturalmente no ambiente misturado. Técnicas de rastreamento visual, usando visão computacional e processamento de imagens são importantes neste caso. Kirner e Siscoutto (2007) descrevem que com a popularização da *webcam* e com o avanço das técnicas de visão computacional e do poder de processamento dos microcomputadores, o rastreamento óptico passou a ser uma realidade, em função da disponibilidade e do baixo custo.

2.2. Tipos de sistemas de Realidade Aumentada

Os sistemas de Realidade Aumentada podem ser classificados conforme o tipo de *display* utilizado (Azuma, 2001), envolvendo visão ótica ou visão por vídeo (Kirner and Zorzal, 2005), dando origem a quatro tipos de sistemas:

- Sistema de visão ótica direta (*Optical see-through HMD*);
- Sistema de visão direta por vídeo (*Video see-through HMD*);
- Sistema de visão por vídeo baseado em monitor (*Monitor-Based Augmented Reality*);
- Sistema de visão ótica por projeção (*Projector-based Augmented Reality*).

O sistema de visão ótica direta utiliza óculos ou capacetes com lentes que permitem o recebimento direto da imagem real, ao mesmo tempo em que possibilitam a projeção de imagens virtuais devidamente ajustadas com a cena real. Uma maneira comum de se conseguir essa característica é usar uma lente inclinada que permita a visão direta e que reflita a projeção de imagens geradas por computador diretamente nos olhos do usuário. A Figura 5 mostra o diagrama desse tipo de sistema e apresenta alguns dispositivos que podem ser utilizados.

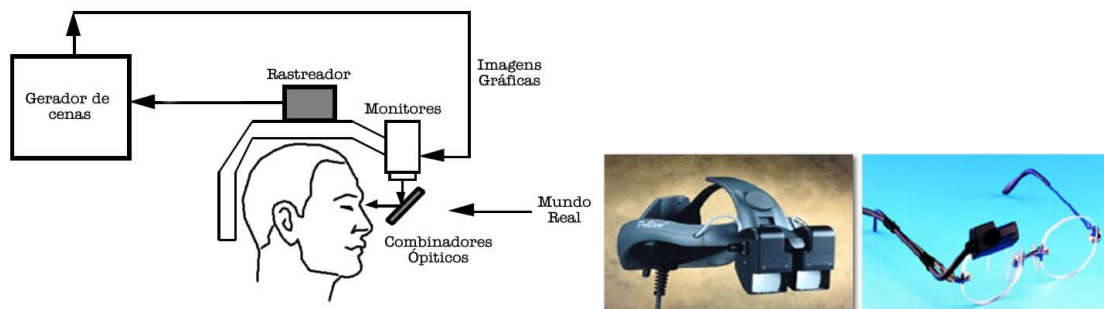


Figura 5 – Diagrama adaptado e dispositivos do sistema de visão ótica direta (Azuma, 1997; Silva, 2004; Silva 2003).

O sistema de visão direta, por vídeo, utiliza capacetes com microcâmeras de vídeo acopladas. A cena real, capturada pela microcâmera, é misturada com os elementos virtuais gerados por computador e apresentadas diretamente nos olhos do usuário, através de pequenos monitores montados no capacete. A Figura 6 mostra o diagrama e apresenta um dispositivo de visão direta por vídeo.

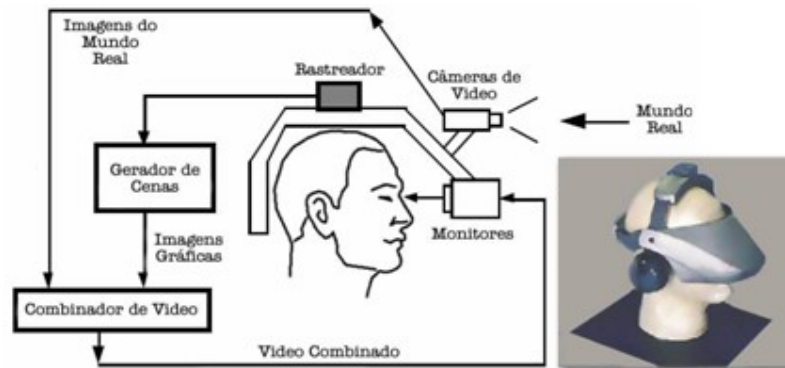


Figura 6 – Diagrama adaptado do sistema de visão direta por vídeo e um modelo de dispositivo (Azuma, 1997; Suthal, 2002).

O sistema de visão por vídeo, baseado em monitor, utiliza uma *webcam* para capturar a cena real. Depois de capturada, a cena real é misturada com os objetos virtuais gerados por computador e apresentada no monitor. O ponto de vista do usuário normalmente é fixo e depende do posicionamento da *webcam*. A Figura 7 mostra o diagrama e os equipamentos utilizados nesse caso.

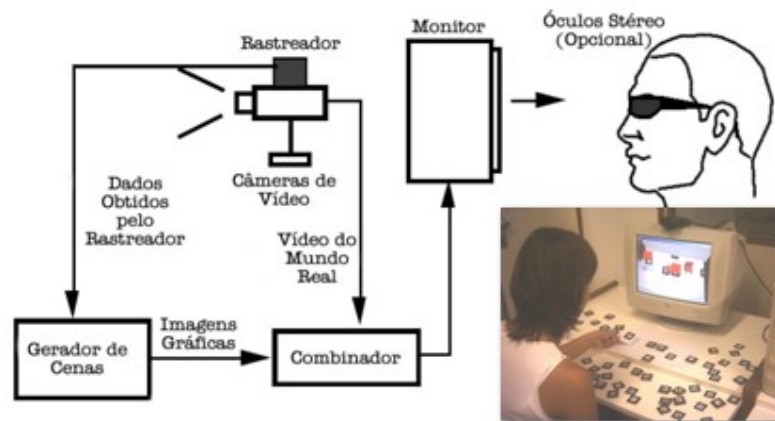


Figura 7 - Diagrama adaptado e dispositivo do sistema de visão por vídeo baseado em monitor (Azuma, 1997).

O sistema de visão ótica, por projeção, utiliza superfícies do ambiente real, onde são projetadas imagens dos objetos virtuais, cujo conjunto é apresentado ao usuário que o visualiza sem a necessidade de nenhum equipamento auxiliar. Embora interessante, esse

sistema é muito restrito às condições do espaço real, em função da necessidade de superfícies de projeção. A Figura 8 apresenta um ambiente que utiliza o sistema de visão ótica por projeção.

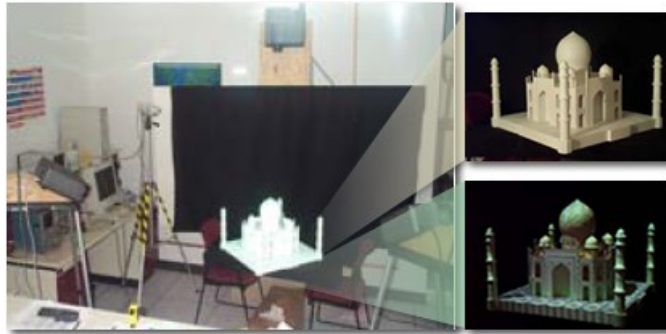


Figura 8 – Ambiente de projeção (Raskar et al., 2001).

Os sistemas de visão direta são apropriados para situações onde a perda da imagem pode ser perigosa, como é o caso de uma pessoa andando pela rua, dirigindo um carro ou pilotando um avião. Em locais fechados, onde o usuário tem controle da situação, o uso da visão por vídeo é adequado e não oferece perigo, pois em caso de perda da imagem pode-se retirar o capacete com segurança, se for o caso. O sistema com visão por vídeo é mais barato e mais fácil de ser ajustado.

2.3. Técnicas de interação com Realidade Aumentada

As técnicas de interação utilizadas em ambientes tridimensionais não podem ser diretamente aplicadas em ambientes de Realidade Aumentada (Bowman et al. 2004). Não há, até agora, um consenso na literatura de como estas técnicas devem ser adequadamente aplicadas em tais ambientes. No entanto, Broll et al. (2005) propõem uma proposta de classificação das técnicas de interação que podem ser usadas em ambientes de Realidade Aumentada e as apresentam da seguinte forma:

- Interação espacial (*spatial interaction*);
- Interação baseada em comandos (*command-based interaction*);
- Interação por controle virtual (*virtual control interaction*);
- Interação por controle físico (*physical control interaction*).

A interação espacial é baseada na manipulação das propriedades espaciais dos objetos físicos. Esta interação, normalmente, é realizada por meio de interfaces tangíveis (Ishii and Ullmer, 1997), onde é permitido ao usuário interagir com os objetos virtuais por meio da manipulação natural dos objetos físicos (reais).

A interação baseada em comandos consiste habitualmente na entrada de gestos espontâneos, simbólicos e/ou comandos de voz do usuário. As informações obtidas a partir do rastreamento (posição das mãos, por exemplo) são utilizadas para a interpretação dos comandos. Geralmente, os sistemas que fazem uso desta técnica utilizam algumas restrições do ambiente, do fundo da cena, da cor dos objetos a serem reconhecidos, das condições de iluminação e das características das câmeras e constroem ambientes bem controlados, de maneira a facilitar as fases iniciais do reconhecimento em benefício da operabilidade do sistema (Truyenque, 2005).

Interação por controle virtual baseia-se na manipulação de símbolos gráficos tridimensionais (*widgets 3D*), representando uma função, aos quais permitem a interação entre o usuário e o computador. Desenvolveu-se uma aplicação teste (Zorzal, 2009) para mostrar o exemplo de controle do ambiente misturado usando a técnica de interação virtual (Figura 9), onde, neste exemplo o usuário utiliza um marcador para acessar um menu virtual e escolher uma nave para o combate. Ao aproximar-se (encostar) de uma das opções do menu com o objeto virtual, sobre o marcador, o sistema reconhece a posição do mesmo, e assim é detectada a seleção e feita a troca da nave espacial, apresentando-a ao usuário.

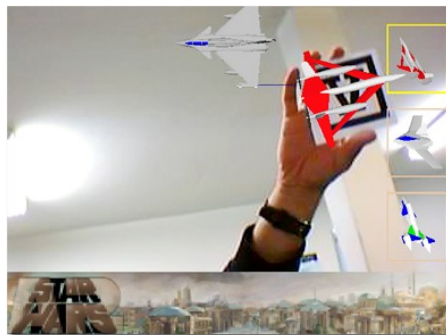


Figura 9 – AR Star Wars: Uso de interação por controle virtual (Zorzal, 2009).

A interação por controle físico é realizada por meio de ferramentas físicas ou painéis de controle que permitem acessar não só o ambiente físico, como também os objetos virtuais.

As diversas formas de interação usadas em ambientes de Realidade Aumentada oferecem uma série de vantagens. As interações espaciais, por exemplo, são adequadas para a seleção e realização das transformações espaciais dos objetos virtuais no espaço tridimensional. A interação baseada em comandos é muito utilizada em sistemas que usam diferentes formatos de entrada como meios de interação. A interação por controle virtual se apresenta como uma metáfora de utilização conhecida, enquanto a interação por controle físico faz uso da integração de ferramentas físicas na interface do usuário.

2.4. Considerações finais

Este capítulo teve como objetivo proporcionar uma visão conceitual da tecnologia de Realidade Aumentada. Primeiramente buscou-se explicar os conceitos sobre Realidade Aumentada, apresentar os sistemas existentes desta tecnologia e, por fim, descrever sobre as possíveis técnicas de interação.

A Realidade Aumentada é uma área recente do conhecimento que oferece inúmeras oportunidades de investigação científica e inovação tecnológica e vem oferecendo aos usuários, melhores condições de interação com aplicações computacionais, propiciando a eles interações naturais e acréscimo de suas capacidades. Os ambientes de Realidade Aumentada amplificam as capacidades das pessoas avaliarem informações tridimensionais, na medida em que flexibilizam a atuação no espaço tridimensional e permitem o uso de interações multimodais, possibilitando maior riqueza de detalhes, melhores técnicas de interação e mais desempenho (Kirner and Siscoutto, 2007).

Visualização de Informação

Este capítulo aborda conceitos sobre Visualização de Informação, as formas de representação dos dados e as diferentes técnicas de visualização e interação.

3.1. Fundamentos da Visualização de Informação

O conceito de Visualização de Informação começou a ganhar forma a partir de um conjunto de trabalhos desenvolvidos por Card, Mackinlay e Robertson apresentados na conferência sobre fatores humanos em sistemas de computação no ano de 1991 (CHI'91) (Card, 1991; Mackinlay, 1991; Robertson 1991). Card (1995) apresenta como meta da Visualização de Informação a representação de dados que não são tratados no contexto da Visualização Científica⁶ e que freqüentemente não têm uma estrutura espacial intrínseca. Risch (1997) considera a Visualização de Informação como o processo de transformar informação abstrata, como o texto, em formas gráficas de maneira que se obtenha um maior nível de abstração.

De maneira geral, as técnicas de Visualização de Informação têm como objetivo transformar um conjunto de dados brutos, nos quais se procura informação, em uma forma visual compreensível e manipulável pelo usuário. As etapas dessa transformação podem ser acompanhadas pelo modelo de referência proposto por Card et al. (1999) apresentado na Figura 10. Este modelo auxilia na modularização do processo de transformação de dados brutos em imagens interativas. Assim, novos recursos podem ser adicionados à visualização sem a necessidade de alterar todo o processo.

Na primeira etapa, denominada Transformações dos Dados, um conjunto de dados brutos é processado e organizado em uma representação lógica mais estruturada, geralmente

⁶ A Visualização de Científica é a área da computação dedicada à visualização de dados físicos ou científicos, geralmente provenientes de medições de objetos físicos, fenômenos da natureza ou posições em um domínio espacial, possuindo, assim, uma representação geométrica (McCormick, 1987). Como exemplo, pode-se citar a visualização de fluidos em movimento e de funções matemáticas. Apesar da similaridade, na Visualização de Informações, os dados são abstratos, não havendo necessariamente uma representação geométrica inerente aos mesmos. Neste caso, uma imagem deve ser gerada com base nos relacionamentos ou informações que podem ser inferidos acerca dos dados.

na forma de uma ou mais tabelas. O processamento pode envolver a eliminação de dados errados ou incompletos, redundantes, bem como a filtragem e o agrupamento dos dados relevantes. Além disso, pode ser feita a inclusão de novas informações, como por exemplo, os resultados de análises estatísticas (média, soma total, desvio padrão, etc.) realizadas sobre os dados brutos. Uma forma comum de organizar os dados em tabelas é alocar uma linha para cada dado e uma coluna para cada atributo diferente dos dados. Dessa forma, a quantidade de linhas informa o número total de dados a serem visualizados, e o total de colunas representa a dimensão dos dados (Do Nascimento, 2005).

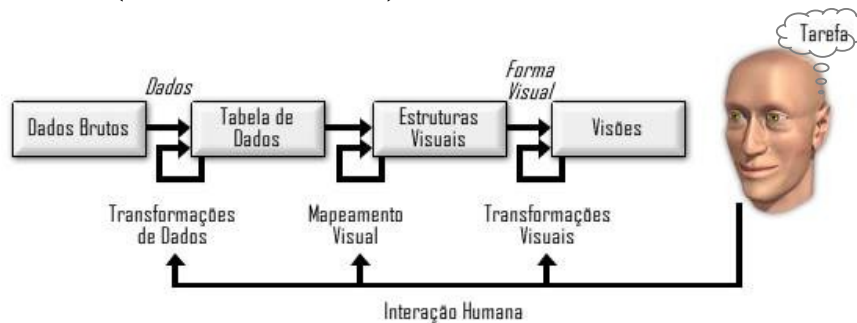


Figura 10 - Modelo de Referência para Visualização.

Em seguida, na etapa de Mapeamento Visual, é necessário construir uma estrutura visual que represente visualmente os dados da tabela. Toda estrutura visual pode ser decomposta em três partes: substrato espacial, marcas e propriedades gráficas das marcas.

O substrato visual caracteriza o espaço para a visualização, sendo normalmente representado por eixos, tais como os eixos X e Y do plano cartesiano. As marcas visuais são símbolos gráficos utilizados para representar os itens de dados, tais como: pontos, linhas, áreas, volumes e ícones. Por fim, as propriedades gráficas das marcas são os atributos visuais que caracterizam as mesmas.

Dessa forma, o Mapeamento Visual consiste em associar os itens de dados à marcas visuais em um substrato visual. Cada atributo dos dados pode ser associado a propriedades gráficas das marcas, como no exemplo adaptado de Da Silva (2007) apresentado na Figura 11.

A última etapa é a de Transformações Visuais, na qual é possível modificar e estender as estruturas visuais interativamente através de operações básicas como:

- Testes de localização, que possibilitam obter informações adicionais sobre um item da tabela de dados;
- Controles de ponto de vista, os quais permitem ampliar, reduzir e deslocar a imagem com o objetivo de oferecer visões diferentes;

- Distorções da imagem, visando criar ampliações de uma região de interesse específica em detrimento de outra.

É importante ressaltar que os mecanismos de interação desenvolvidos nessa etapa permitem ao usuário explorar diferentes cenários para um melhor entendimento dos dados visualizados. A Figura 11 (a) apresenta uma tabela de notas de alunos regulares e de alunos especiais cursando determinadas disciplinas. A Figura 11 (b) representa os atributos e os dados da Figura 11 (a), evidenciando o uso do espaço, marcas e propriedades gráficas para representar os dados.



Figura 11 – Representação dos dados de alunos.

Como pode ser observado na Figura 11, a Visualização de Informação contribui de maneira mais significativa no processo de análise do que na simples observação dos dados. Ao organizar os dados segundo critérios específicos, a fim de visualizá-los, acabamos por recuperar informações e possibilitar a construção de novos conhecimentos sobre os mesmos.

3.2. Visualização efetiva

Segundo Mackinlay (1988), a escolha da representação adequada para um determinado conjunto de dados deve ser baseada em critérios de expressividade e eficácia, onde o critério de expressividade se refere às representações gráficas que revelam exatamente a informação de interesse para o usuário, e o critério de eficácia está relacionado à facilidade de entender tais representações e suas respectivas informações.

Para se tornar efetiva, a visualização deve transmitir rapidamente, sem a indução de erros, as informações para o usuário, para tanto, ela deve atender às capacidades de percepção da visão humana (Alexandre and Tavares, 2007). De acordo com Dastani (2003), tanto a expressividade como a eficácia são fatores dependentes da percepção humana, pois não existe efetividade sem uma representação expressiva que esteja de acordo com os requisitos da percepção humana.

Como exemplo de visualização efetiva, Tufte (1983) faz referência a um mapa (Figura 12) que foi desenhado em 1869, por Charles Joseph Minard (1781-1870), um engenheiro francês, para mostrar a marcha do exército de Napoleão durante a campanha de 1812 para conquistar a Rússia.

O ponto de partida é o rio Niemen, na extremidade esquerda, perto da fronteira russo-polonesa, de onde 422 mil franceses partiram em junho de 1812. A linha cinza indica o exército francês a caminho de Moscou e sua espessura, o tamanho do exército em cada dado momento. Na extremidade direita do mapa, está Moscou, onde os franceses chegaram em setembro. Com o inverno se aproximando rapidamente Napoleão decidiu voltar.

A linha escura mostra a retirada francesa e, mais uma vez, a largura da linha indica o tamanho do exército. Além disso, o percurso da retirada também está apresentado em termos de dias e temperaturas, para que o leitor possa acompanhar com precisão o frio que aumentava progressivamente. Por fim, apenas 10 mil homens conseguiram retornar à Polônia.

A visualização torna-se interessante porque consegue, em um espaço pequeno e de modo efetivo, apresentar seis diferentes variáveis: o tamanho do exército, sua localização em uma superfície bidimensional, a direção do movimento do exército e a temperatura em várias datas.

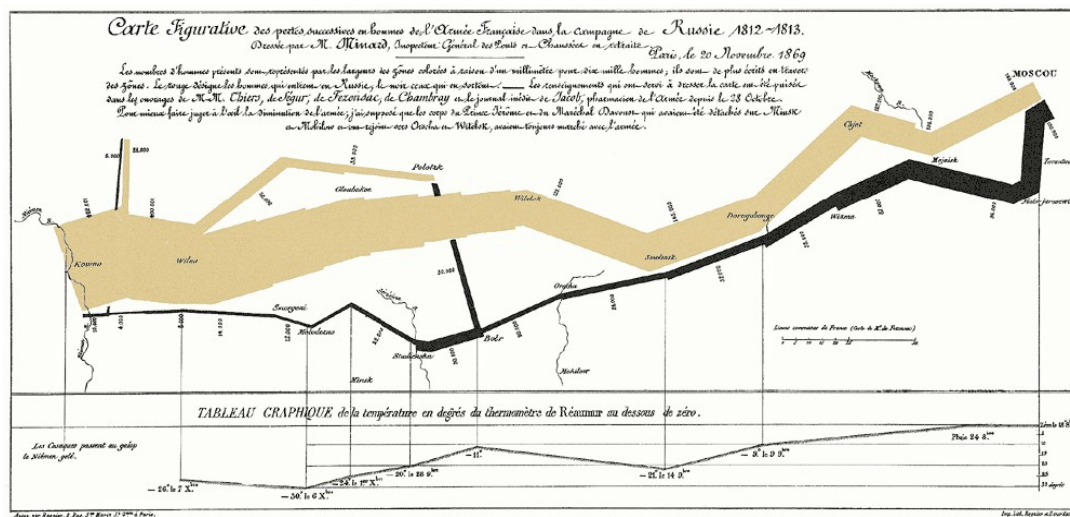


Figura 12 – Diagrama de Minard (Tufte, 1983).

É evidente que características como a cor, a dimensionalidade, a perspectiva, a luminosidade, o tamanho e a forma dos objetos são fatores que auxiliam no processo de

cognição⁷ e que podem ser explorados na construção de visualizações efetivas. Mackinlay (1988) propõe ordens de prioridade para se associar atributos de dados a atributos visuais, as quais se tornaram uma extensão do trabalho apresentado em Cleveland and McGill (1984). A Tabela 2 apresenta tais ordens, onde são considerados três tipos de dados, aos quais vão sendo apresentados do atributo visual mais perceptível até o menos perceptível. Os atributos sombreados não são considerados relevantes para o tipo de dado em questão.

Tabela 2 – Acuidade de percepção dos atributos visuais.

Percepção	Dados Quantitativos	Dados Ordinais	Dados Nominais
	Posição	Posição	Posição
	Comprimento	Densidade	Croma de Cor
	Ângulo	Saturação de Cor	Textura
	Inclinação	Croma de Cor	Conexão
	Área	Textura	Delimitação
	Volume	Conexão	Densidade
	Densidade	Delimitação	Saturação de Cor
	Saturação de Cor	Comprimento	Forma
	Croma de Cor	Ângulo	Comprimento
	Textura	Inclinação	Ângulo
	Conexão	Área	Inclinação
	Delimitação	Volume	Área
	Forma	Forma	Volume

Ao desenvolver-se um sistema de visualização é necessário considerar o foco de cada aplicação, levando-se em conta as metáforas⁸ a serem construídas para o sistema (Martins, 2000). A Figura 13 apresenta um exemplo de gráfico/metáfora usado para representar o poder de consumo do brasileiro, medido pelo Critério de Classificação Econômica do Brasil (CCEB). Tal pesquisa foi realizada pela Associação Brasileira de Empresas de Pesquisa (Abep) e publicada na Revista Super Interessante, edição de Mar/2008, onde a representação visual dos dados é dada por uma metáfora de um sanduíche (sanduíche brasileiro), o qual

⁷ Os processos cognitivos são atividades mentais como o pensamento, a imaginação, a lembrança e a solução de problemas (Allen, 1991). Essas atividades são desempenhadas por indivíduos que têm níveis diferentes de habilidade em raciocínio lógico e em memória visual, o que pode afetar o desempenho na recuperação da informação.

⁸ Ferreira (2004) define metáfora como um tropo que consiste na transferência de uma palavra para um âmbito semântico que não é o do objeto que ela designa, e se fundamenta em uma relação de semelhança subentendida entre o sentido próprio e o figurado.

apresenta de um lado (Classe A) bastante recheio, e do outro (Classe E) apenas as migalhas do pão, mostrando o intervalo que existe entre a riqueza/fartura e a pobreza/fome.

Kirner e Salvador (2007) apresentam a metáfora para usuários interagirem com os ambientes virtuais, e indicam que a metáfora deve fornecer aos usuários meios para pensar em termos de interação com objetos que estão diretamente relacionados a tarefas disponíveis, ao invés de pensar em termos de interação com um dispositivo, via computador.

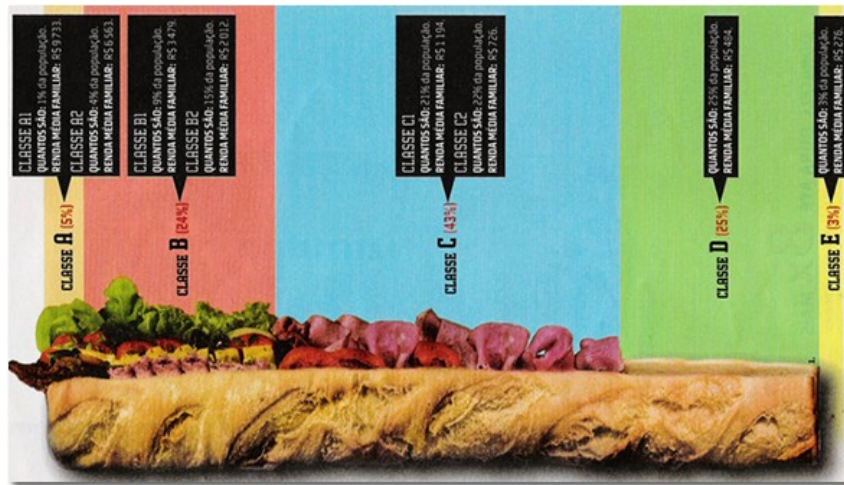


Figura 13 – Metáfora: Do banquete à migalha (San, 2008).

Obviamente uma única metáfora não poderá cobrir todas as aplicações de Visualização de Informações ou todos os domínios, sendo necessário que estas metáforas sejam construídas com base em cada caso e vinculadas a um domínio de aplicação. Uma metáfora não deve derivar do mundo real, mas de uma linguagem convencional do domínio da aplicação para que o ambiente seja construído (Kirner and Salvador, 2007).

Construir uma boa metáfora para o ambiente virtual em uma aplicação, e que considere adequadamente os princípios da percepção humana é uma tarefa difícil, visto que é necessário saber como esta metáfora determinará a aparência e o comportamento do ambiente, e também como o usuário irá interagir com ele. Uma boa metáfora para representação dos dados deve fornecer ao usuário uma interação eficaz e confortável com o ambiente virtual de modo que as tarefas da aplicação sejam facilmente executadas.

3.3. Representação de dados: tipos de dados de domínio

A classificação de dados está diretamente relacionada à classificação de conhecimento. Uma classificação informal das classes de dados é citada por Bertin (1977), o qual sugeriu duas formas fundamentais de dados: valores de dados e estruturas de dados. Uma idéia similar é dividir dados em entidades e relacionamentos (frequentemente chamados de relações).

Entidades são os objetos que se deseja visualizar; relações definem as estruturas e padrões que associam entidades entre si. Algumas vezes, as relações são providas de forma explícita; outras vezes descobrir as relações é um propósito da visualização.

Tanto as entidades quanto as relações podem ter atributos. Em geral, algo deve ser chamado de atributo (ao invés de uma entidade), quando é uma propriedade de alguma entidade e não pode ser pensado de maneira independente. Assim, a cor de uma entidade fruta é um atributo da fruta. A temperatura da água é um atributo da água. Tempo é um atributo de uma corrida. Porém, definir o que deve ser uma entidade e o que deve ser um atributo não é sempre fácil. Por exemplo, pode-se definir o salário de um empregado como um atributo do empregado, mas também, é possível defini-lo como uma entidade, sendo neste caso, uma quantia de dinheiro. Neste exemplo, é preciso determinar em qual caso seria uma relação entre a entidade de empregado e, em qual caso seria a relação entre a entidade de quantia em dinheiro.

É desejável descrever métodos de visualização de dados levando em conta a qualidade de atributos que eles são capazes de suportar. Um modo útil para considerar a qualidade de dados é a taxonomia de escalas de números definido pelo estatístico Stevens (1946), que divide quatro níveis de medida: nominal, ordinal, intervalo e escala de razões.

1. Nominal: é aquela em que os números servem apenas para nomear, identificar e categorizar dados sobre pessoas, objetos ou fatos, ou seja, em que os números funcionam como rótulos usados para identificar diferentes categorias de respostas. Fruta pode ser classificada em maçãs, laranjas, bananas, e assim por diante. Não há nenhum senso no qual a fruta pode ser colocada em uma sucessão ordenada. Às vezes números são usados deste modo. Por exemplo, o número na frente de um ônibus geralmente tem um valor puramente nominal, já que ele identifica a rota na qual o ônibus trafega.
2. Ordinal: A categoria ordinal atribui valores ou nomes para as amostras, mas gera um conjunto ordenado (seqüência) de classes. Pode-se dizer que um determinado item venha antes ou depois de outro. A posição de um item em uma fila ou lista é uma qualidade ordinal. As pessoas podem classificar algum grupo de coisas (filmes, candidatos políticos, computadores) de forma a criar uma escala ordinal em ordem de preferência.
3. Intervalo: Esses tipos de dados diferem dos dados a nível ordinal pelo fato de, neste caso, os intervalos entre os itens ou artigos em uma escala graduada serem conhecidos. Assim, além de ordenar os valores, as distâncias entre as categorias são definidas em unidades fixas e iguais. O exemplo clássico de uma escala de intervalos é o termômetro, que indica

a temperatura em termos de graus; um grau representa a mesma quantidade de calor, não importa se a temperatura estiver na parte superior ou inferior da escala.

4. Razões: Esta escala tem as mesmas propriedades de uma escala de intervalos contínua, no entanto, o uso de uma escala de razões implica um valor zero absoluto usado como referência. As réguas e as balanças de pesagem são exemplos da medição de nível absoluto. Com uma escala de razões, é possível ter o poder expressivo completo de um número real. É possível fazer declarações como: "o objeto A é duas vezes maior que o objeto B". A massa de um objeto, por exemplo, está definida em uma escala de razões.

Na prática, somente três dos níveis de medida de Stevens são amplamente usados, e estes, um pouco diferenciados. As classes de dados básicas, normalmente consideradas em visualização, foram grandemente influenciadas pelas demandas da programação de computação. Elas são as seguintes:

- Dados de categoria: como a classe nominal de Stevens;
- Dados inteiros: como a classe ordinal (discreta e ordenada);
- Dados de números reais: combina as propriedades de intervalo e escalas de razão.

3.4. *Técnicas de Visualização de Informação*

Existem diversas técnicas⁹ que apóiam a Visualização de Informação e, segundo a classificação de Keim (2002), estas técnicas podem ser divididas em:

- Projeções 2D/3D convencionais: abrangem um grande número de técnicas mais simples e amplamente utilizadas como plotagem em planos e espaços, gráficos de barras, gráficos de pizza, gráficos de linhas, etc;
- Técnicas baseadas em projeções geométricas: têm como princípio o mapeamento de dados multidimensionais para padrões bidimensionais através da utilização dos valores presentes na base de dados como parâmetros para a geração de formas geométricas. Estas formas devem ser tais que o conteúdo da informação representada possa ser percebido e analisado visualmente em suas propriedades gráficas, sendo que quanto maior o número de propriedades percebidas individualmente, maior será o número de atributos dos dados discriminados. Como exemplos têm-se as *Coordenadas Paralelas* (Inselberg and Dimsdale, 1990), as *Star Coordinates* (Kandogan 2000) e os *Scatter Plots* como descrito em (Ward, 1994);

⁹ Pode-se verificar no Anexo B deste documento a descrição de algumas das técnicas de visualização especuladas nesta pesquisa.

- Técnicas baseadas em ícones: cada item de informação é representado como um ícone, cuja aparência deve ser familiar ao ser humano, para que os atributos das entidades gráficas possam ser prontamente associados aos itens de dados em análise. Segundo (Pickett and Grinstein, 1988), cor, forma e textura são características amplamente exploradas no *design* dos ícones, pois podem ser utilizadas simultaneamente sem perda de informação. Como exemplos têm-se as clássicas Faces de *Chernoff* (Chernoff, 1973), os *Star Glyphs* (Chambers, Cleveland et al., 1983) e as *Stick Figures* (Pickett and Grinstein, 1988);
- Técnicas orientadas a *pixels*: apresenta-se cada atributo de um dado multidimensional, através de *pixels* do dispositivo de exibição e faz-se o uso de cores para representar os valores dos dados. Também se calcula um fator, denominado Fator de Relevância (Keim and Kriegel, 1994) que é baseado na ordem de apresentação dos elementos. Cada dimensão é apresentada em uma janela individual, onde os elementos são comparados em relação a um atributo específico. A visualização pode ser gerada sobre todos os elementos de dados ou sobre um subconjunto especificado;
- Técnicas hierárquicas: nesta abordagem o espaço k-dimensional é subdividido e os subespaços resultantes são apresentados de forma hierárquica, como por exemplo, na técnica denominada *Dimensional Stacking* (LeBlanc, Ward et al. 1990) que apresenta bidimensionalmente as dimensões em sucessivos níveis hierárquicos.

Existe ainda a possibilidade de combinação entre estas técnicas, que permite o surgimento de novas técnicas denominadas híbridas.

3.5. Técnicas de interação

A interação é capaz de potencializar o poder elucidativo de uma dada técnica de visualização. Interagindo dinamicamente, o usuário pode alterar a visualização de forma que suas metas de exploração sejam alcançadas. Meios adequados de interação permitem ao usuário criar diversos arranjos de estrutura da base de dados que esta sendo explorada, comparar suas dimensões e gerar conhecimento, a partir da análise das projeções geradas em cada passo do processo.

Existem diversos recursos, técnicas de interação e várias classificações. Grinstein and Ward (2002) procuram delinear a natureza das técnicas de interação e não classificá-las de forma explícita. Eles discutem os fatores que podem ser utilizados para agrupar os dados, segundo propriedades comuns. De acordo com Grinstein and Ward (2002), o usuário, ao acessar os dados em uma cena de visualização, pode fazer uso da interação através de

recursos de navegação, isto é, alternando parâmetros gráficos que lhe permitem ver a imagem por diferentes ângulos, e buscando assim um quadro mais revelador. O usuário pode também utilizar a interação por amostragem dos dados para reduzir as proporções do processo de análise que passa a ser realizado sobre um conjunto menor de informações. Há também a interação direta, por meio da qual é possível fazer consultas para fins específicos, que podem surgir durante o processo de análise. E, por fim, é apontada a interação associativa que permite o acesso relacionado dos dados em diferentes técnicas de visualização.

Além disso, as ferramentas de visualização permitem oferecer apoio ao usuário em todo o processo de análise dos dados. Segundo Alexandre e Tavares (2007), elas podem favorecer, tipicamente, três atividades:

- **Análise exploratória** – O usuário não tem nenhuma idéia de quais conhecimentos os dados podem conter e, por meio de um processo analítico, explora a representação visual e procura sinais que possam sugerir indicações sobre tendências particulares e relações que levam a alguma hipótese;
- **Análise confirmatória** – O usuário tem uma hipótese e a meta será por meio da exploração visual encontrar a evidência para aceitação ou rejeição de tal hipótese;
- **Apresentação** – É utilizada para representação gráfica e exposição do relacionamento, estrutura, comportamento e outras características intrínsecas aos dados em questão.

3.6. Visualização de Informações com Realidade Aumentada

A interdisciplinaridade é uma característica intrínseca da área de Visualização de Informação, uma vez que essa área pode auxiliar e atender a demandas por informação vindas de diferentes áreas de conhecimento. Essa interdisciplinaridade pode ser praticada por diversas áreas, aproveitando seus resultados e estendendo suas aplicações para beneficiar diferentes atividades e áreas de pesquisa (Da Silva, 2007).

Existem diversas tecnologias aplicáveis à área de Visualização de Informação e a Realidade Aumentada vem se destacando nesse sentido. Uma das principais vantagens desta tecnologia é a ampliação do grau de aproximação da representação com o modo de costume do usuário manipular informações e o envolvimento amplo de sentidos do ser humano na interação homem-máquina.

Para implementar interfaces tridimensionais, propiciando visualização e manipulação parecidas com as ações no mundo real, a Realidade Aumentada mistura o cenário real com objetos virtuais gerados por computador, o que permite produzir um único ambiente, sobreposto ao ambiente físico disposto na frente do usuário (Azuma, 1997). Isso facilita a

análise e a interação com gráficos e a exploração de aspectos cognitivos, relatados com a compreensão da informação.

De maneira diferente da Realidade Virtual, que transporta o usuário para o ambiente virtual, a Realidade Aumentada o mantém no seu ambiente físico e transporta o ambiente virtual para o espaço de domínio do usuário, permitindo a interação com o mundo virtual, de forma mais natural e sem necessidade de treinamento ou adaptação. Essas características fizeram com que a Realidade Aumentada se beneficiasse, tornando suas aplicações viáveis, tanto em plataformas sofisticadas quanto em plataformas populares (Kirner and Tori, 2004).

3.7. Considerações Finais

Este capítulo apresentou uma visão geral dos conceitos sobre Visualização de Informação, buscou delinear o processo de conversão de dados em estruturas visuais interativas e relatar as tradicionais técnicas de visualização e interação de dados.

Verifica-se que com o uso de técnicas de Visualização de Informação, por meio de recursos computacionais, é possível converter dados numéricos e apresentá-los visualmente ao usuário por meio de imagens ou outros estímulos sensoriais, de forma que possam ser melhores compreendidos.

Sistemas Adaptativos

Este capítulo apresenta conceitos sobre Sistemas Adaptativos, interfaces adaptativas, modelagem do usuário, arquitetura básica dos sistemas adaptativos e o espaço de adaptação.

4.1. Considerações sobre Sistemas Adaptativos

Segundo (Benyon, 1993), Sistemas Adaptativos são aqueles que podem alterar aspectos de sua estrutura, funcionalidades ou interface para acomodar as necessidades e diferenças individuais ou de um grupo de usuários. Para o sistema ter a capacidade de saber o que apresentar a um determinado indivíduo, é preciso criar uma estrutura que suporte as diferentes informações dos usuários.

Os Sistemas Adaptativos armazenam um modelo com diversas características dos usuários, tais como interesses, metas, preferências e nível de conhecimento (Palazzo, 2000). Os primeiros sistemas do gênero surgiram na década de 50 e apresentavam o conhecimento de maneira linear (Loinaz, 2001). Em virtude da preocupação com a adaptação dos sistemas às necessidades dos usuários, no início dos anos 70 aumentou o interesse pelos Sistemas Adaptativos. Anos mais tarde, na década de 80, com os estudos na área de Inteligência Artificial iniciou-se o desenvolvimento dos Sistemas Adaptativos para a educação, conhecidos como Sistemas Tutores Inteligentes (Viccari and Giraffa, 2003). Na década de 90 tais sistemas obtiveram um grande avanço, tendo como objetivo aproximar a tecnologia ao usuário. Atualmente, de acordo com Loinaz (2001), a utilização desses sistemas não se limita apenas à área de educação, mas também são usados para realizar outras tarefas como:

- Adaptar a interface de acordo com o nível de conhecimento, características, dificuldades e preferências do usuário;
- Apresentar informações ao usuário de acordo com o seu perfil;
- Auxiliar os usuários a encontrar informações;
- Demonstrar, segundo o objetivo do usuário, o melhor caminho de navegação;
- Aperfeiçoar a interação homem-máquina visando atingir uma melhor usabilidade.

Outro conceito bastante difundido, dentre a área de Sistemas Adaptativos, é o da Hipermídia Adaptativa que, de acordo com Palazzo (2000), é a área da Ciência da Computação que se ocupa do estudo e desenvolvimento de sistemas, arquiteturas, métodos e

técnicas capazes de promover a adaptação de hipertextos e hipermídia em geral às expectativas, necessidades, preferências e desejos de seus usuários.

Em outras palavras, em sistemas de Hipermídia Adaptativa os usuários acessam interfaces cujo estilo, recursos e *links* serão dinamicamente selecionados entre diversas possibilidades, reunidos e apresentados a eles conforme seus objetivos, necessidades, preferências e desejos.

Os sistemas de Hipermídia Adaptativa tentam assim antecipar as expectativas dos usuários a partir de modelos representando seu perfil. O objetivo geral de tais sistemas é fornecer aos seus usuários um conteúdo atualizado, subjetivamente interessante, com ilustração multimídia pertinente, tamanho e profundidade adequados ao contexto e possuindo correspondência direta com o Modelo do Usuário. Este funciona como uma referência para o sistema, que busca adaptar seu ambiente a ele.

4.2. *Arquitetura básica dos Sistemas Adaptativos*

A maior parte dos Sistemas Adaptativos é constituída por uma arquitetura básica que evoluiu a partir das necessidades de adaptação que os sistemas começaram a ter. Segundo Benyon (1993), a arquitetura de um Sistema Adaptativo requer basicamente a inserção de três modelos: Modelo do Usuário, modelo de domínio e modelo da interação, conforme o diagrama apresentado na Figura 14.

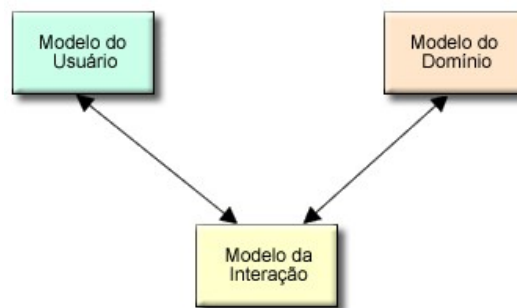


Figura 14 - Arquitetura básica dos Sistemas Adaptativos.

O Modelo do Usuário contém as características e preferências particulares que o sistema julga que os usuários possuem. Essas informações podem ser alteradas ou manipuladas pelo próprio usuário de acordo com o nível em que ele se encontra ou em um novo perfil fazendo-se assim uma melhor adaptação. Para isso, o sistema deve monitorar o comportamento do usuário tentando descobrir seus conhecimentos gerais, seus objetivos e interesses, suas preferências e suas dificuldades. O Modelo do Usuário especifica aspectos e as funções do sistema.

O Modelo de Domínio define os aspectos da aplicação que podem ser adaptados a novas situações ou necessários para a operação do Sistema Adaptativo. Os assuntos relacionados com o que vai ser utilizado ficam representados neste modelo. Além disso, este modelo também possui a base das inferências feitas pelo sistema a partir de sua interação com o usuário. A base das inferências é um conjunto de regras para descobrir as ações que o sistema deve tomar.

O Modelo da Interação mostra as adaptações reais que o sistema realiza. Uma interação do usuário com o sistema é uma troca de informações entre ambos, monitorada pelo sistema. A informação resgatada nessa monitoração pode ser utilizada para se fazer inferências sobre o usuário e, como consequência, apresentar novos aspectos da aplicação ou modificar aspectos existentes. Os dados resgatados devem ser representados e armazenados em uma base de conhecimentos.

Os Modelos do Usuário e do Domínio determinam o que pode ser inferido a partir da base. Neste modelo, todo Sistema Adaptativo deve manter um registro da interação. Esse registro determina a capacidade da adaptação do sistema.

4.3. Interfaces Adaptativas

Segundo Vieira (2001), as Interfaces Adaptativas, também conhecidas como Interfaces Inteligentes, são interfaces capazes de se adaptar a diferentes tipos de usuários, fazendo com que os mesmos possam reorganizar os módulos apresentados na interface da forma que achar mais agradável para seu uso. Elas são artefatos que devem reconhecer os objetivos e metas dos usuários e saber como atingi-los. Também devem ser mais tolerantes a erros, oferecer formatos agradáveis, prover uma interação mais natural aos usuários, assim como, empregar os recursos de Inteligência Artificial, a fim de facilitar o seu uso. A inteligência das interfaces deve fazer os sistemas se adaptarem aos usuários, tirar suas dúvidas, permitir um diálogo entre o usuário e o sistema ou apresentar informações integradas e compreensíveis utilizando vários modos de comunicação.

Uma interface é considerada adaptativa quando se usa um Modelo do Usuário. Assim, o sistema pode analisar as ações e perfis do usuário e se adaptar automaticamente aos seus interesses. Fazendo uso das Interfaces Adaptativas, o sistema pode ser personalizado para estilos cognitivos individuais, necessidades de informações e tarefas personalizadas. As diferenças de cada usuário que podem ser controladas pelo projeto da interface são: a personalidade, o estilo cognitivo, o estilo de aprendizagem e a experiência (Silva and Da Silva, 2007).

Leitão (2003) considera que as interfaces inteligentes precisam ter um conhecimento elevado sobre cada usuário de forma que possam oferecer uma interação mais apropriada. O sistema observa as definições das tarefas, o tempo de realização das mesmas e os erros de cada usuário para poder relacionar um determinado perfil do nível de cada um. As Interfaces Adaptativas modificam, de forma automática, os aspectos de suas funcionalidades, estilo de diálogo, formas de ajuda, formato das mensagens de erro ou seu visual diante das necessidades dos usuários.

Deve-se utilizar uma Interface Adaptativa quando se percebe a dificuldade dos usuários em realizar suas tarefas por causa da interação e do entendimento das informações apresentadas pela máquina.

Um dos motivos necessários ao desenvolvimento de sistemas com Interfaces Adaptativas é a criação de aplicações complexas. Isso faz com que os usuários necessitem de algum guia para usar determinadas partes da aplicação, principalmente se estas são pouco utilizadas. Pode acontecer também que tais aplicações sejam confusas para o usuário.

A empresa americana *Standish Group* tem pesquisado o grau de utilização das funcionalidades dos sistemas que são colocados em produção. Esta pesquisa verificou que, tipicamente, 45% das funcionalidades nunca são utilizadas pelos seus usuários e 19% delas raramente são usadas, totalizando 64% de funcionalidades que ficam ociosas no sistema. Por outro lado, o mesmo estudo revelou que 7% das funcionalidades são usadas sempre e outros 13% são usados com frequência (Johnson, 2002).

Outro motivo são as aplicações que contêm muitas informações que precisam ser apresentadas ao usuário, nestas aplicações é preciso utilizar técnicas para determinar quais informações são mais pertinentes àquele usuário, de maneira que não ocorra uma sobrecarga de informações (Silva and Da Silva, 2007).

4.4. Espaço para Adaptação

O que pode ser adaptado no sistema? Que características do sistema podem diferir para diferentes usuários? Qual é o espaço possível de adaptação? Estas são algumas questões que podem ser levadas em consideração quando o processo de desenvolvimento de um sistema adaptativo é iniciado.

O espaço para adaptação em Sistemas Adaptativos, do âmbito geral, está diretamente correlacionado ao espaço de adaptação definido por Fernandes et al. (2003). Em certo nível de generalização o Sistema Adaptativo é constituído por um conjunto de pontos interconectados em uma estrutura ou documentos em hipermídia conectados através de *links*. Cada ponto

possui alguma informação local e um determinado número de ligações para outros pontos relacionados. Os sistemas hipermídia podem também incluir um índice ou mapa com *links* para todos os pontos (nodos) disponíveis. Conforme Brusilovsky (2001), o que pode ser adaptado na hipermídia adaptativa, e naturalmente estendido, com poucas ou nenhuma adaptação, a todas as categorias de Sistemas Adaptativos, é o conteúdo dos pontos interconectados - nodos (adaptação em nível de conteúdo) e as ligações destes pontos - *links* dos nodos (adaptação em nível de *links*). Estes dois níveis dividem as duas classes de adaptação, e sendo o primeiro chamado de apresentação adaptativa e o segundo de navegação adaptativa. A Figura 15 apresenta o espaço de adaptação em sistemas de Hipermídia Adaptativa.

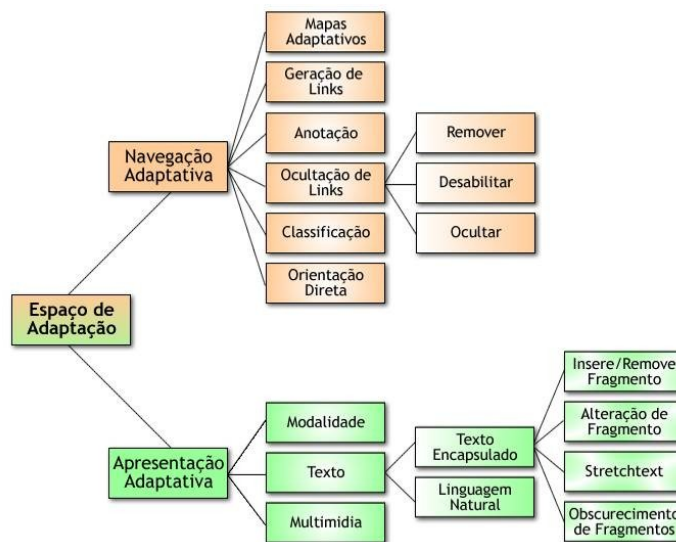


Figura 15 - Espaço de adaptação em sistemas de Hipermídia Adaptativa (Brusilovsky, 2001).

A apresentação adaptativa consiste na adaptação do conteúdo de um nodo acessado por um usuário em particular de acordo com seu conhecimento, objetivos e outras características. Por exemplo, a um usuário qualificado pode-se prover informação mais detalhada e profunda enquanto que a um usuário iniciante podem ser oferecidas explicações básicas e adicionais. Em sistemas hipermídia, o conteúdo de um nodo pode conter diferentes tipos de mídias (texto, som, imagem, vídeo, etc.). Logo, pode-se encontrar na literatura a descrição de técnicas e sistemas orientados a apresentação adaptativa de textos (Staff, 1997) e de técnicas e sistemas orientados a apresentação adaptativa de objetos multimídia (Brusilovsky, 1997).

Em situações em que a mídia apresentada seja textos, o espaço de adaptação corresponde às possíveis modificações a que estes podem ser submetidos antes de ser

apresentados ao usuário. De maneira geral, isto se dá em nível de recortes e atributos de texto, que são adaptativamente selecionados para apresentação. Na apresentação de objetos multimídia o que geralmente ocorre é a seleção dos objetos a serem apresentados a partir de um conjunto de possíveis opções. A adaptação da modalidade refere-se à seleção de um meio específico (vídeo, áudio, animação...), dentre diversos possíveis, para apresentar um mesmo conteúdo (Kobsa, 2001).

A navegação adaptativa tem como objetivo auxiliar os usuários a encontrar seus caminhos no hiperespaço, adaptando a forma como serão apresentados os *links* de forma a ajustá-los aos objetivos e conhecimentos de um usuário individual. Algumas técnicas para a apresentação de links em sistemas hipermídia são apresentadas na Tabela 3. Estas técnicas podem aplicadas em sistemas adaptativos (de todos os contextos) com poucas ou nenhuma alteração.

Tabela 3 – Técnicas para apresentação de links.

Técnica	Descrição
Orientação Direta	Decide qual o melhor nodo a ser visitado posteriormente, a fim de produzir alterações na página onde está sendo apresentado um conceito, com o intuito, por exemplo, de alertar o usuário para o próximo assunto que ele deve explorar de acordo com seus objetivos, experiência e preferências, após acabar o assunto atual.
Geração de Links	Permite gerar novos links interessantes e apresentá-los no espaço do usuário.
Classificação adaptativa	Consiste em classificar todos os links partindo de um nodo de acordo com a sua relevância, calculada sobre o Modelo do Usuário.
Ocultação	Consiste em restringir o espaço de navegação para nodos não relevantes. Um nodo pode ser considerado não relevante por várias razões: por exemplo, se não está relacionado com os objetivos do usuário corrente, ou se o usuário ainda não está preparado para entender o material a ser apresentado.
Anotação adaptativa	Acrescenta a informação presente nos links com alguma forma de comentário que pode dizer mais a respeito do estado corrente dos nodos a que se conectam. Estas anotações podem ser oferecidas em forma textual ou sob a forma de indicadores visuais, por exemplo, diferentes ícones, cores ou tamanho de caracteres. Além disso, a anotação pode simular a ocultação simplesmente obscurecendo os itens considerados não-relevantes. O obscurecimento pode reduzir em alguma extensão a sobrecarga cognitiva, mas estes se manteriam ainda visíveis.
Mapas Adaptativos	A tecnologia dos mapas adaptativos compreende várias formas de adaptação de mapas global e local de hipermídia apresentados ao usuário. A pesquisa realizada na área de interação homem-máquina oferece diversas técnicas para adaptar a estrutura e a forma de vários tipos de redes, incluindo mapas hipermídia.

A orientação direta, classificação, ocultação e adaptação de mapas são as técnicas primárias empregadas na navegação adaptativa. Elas não são mutuamente exclusivas ou contraditórias, de modo que é perfeitamente possível o seu emprego combinado (Cardoso, 2002).

4.5. Modelagem do Usuário

Uma das principais motivações em se construir sistemas capazes de modelar o usuário relaciona-se com a possibilidade de adaptar o comportamento do sistema às necessidades particulares de seus usuários (Papatheodorou, 2001). Um modelo de usuário é uma representação explícita das características, preferências e necessidades de um usuário ou grupo de usuários. Ao processo de aquisição e representação de um modelo dá-se o nome de modelagem de usuário.

De acordo com Puerta (1998), a primeira etapa para o desenvolvimento de um projeto de interface deve ser o levantamento das características dos usuários. O autor menciona que as determinações de quais informações sobre o usuário são necessárias à interface dependem do objetivo do projetista e devem, conseqüentemente, ser agregadas ao modelo, possibilitando dessa forma a criação de diferentes perfis de usuários caracterizados por estas informações. Assim, para cada perfil o projetista deve prever o comportamento adequado da Interface.

A modelagem do usuário é usada para armazenar a informação gerada relativa ao usuário a partir do comportamento que o mesmo apresenta durante a interação com o sistema, e inferida pelo sistema, a partir de dados prévios sobre o usuário, respostas às perguntas formuladas e padrões de comportamento durante a interação. O processo consiste em inferir, a partir dos dados observáveis, o estado cognitivo do usuário.

Conforme referido por Palazzo (2000), o conhecimento, objetivo, história, experiência e preferências são as principais características associadas a um usuário que podem ser utilizadas para ajustar um sistema adaptativo.

O conhecimento do usuário sobre um determinado assunto representado no ambiente é uma das características mais importante na construção do seu modelo. Como esta informação é dinâmica, isto é, se altera ao longo do tempo para um particular usuário, o sistema deve ser capaz de reconhecer as modificações produzidas no conhecimento do usuário para atualizar adequadamente o seu modelo.

Os objetivos do usuário estão mais relacionados com a tarefa ou atividade do usuário em relação ao ambiente, do que com ele próprio como indivíduo. Os objetivos do usuário são

a sua característica mais sujeita a alterações, pois, quase sempre se modifica de uma sessão para outra e freqüentemente pode mudar diversas vezes dentro de uma mesma sessão.

A história do usuário significa toda informação relacionada com a sua experiência anterior, fora do assunto abordado pelo sistema, que seja suficientemente relevante. A experiência do usuário denota a familiaridade do usuário com a estrutura e navegação no ambiente considerado.

As preferências do usuário diferem das demais características de seu modelo em diversos aspectos. Em geral as preferências não podem ser deduzidas pelo sistema. O usuário precisa declará-las ou informá-las indiretamente por meio de algum questionário simples. A principal diferença é que os sistemas adaptativos devem ser capazes de generalizar as preferências do usuário e aplicá-las para adaptação a novos contextos (Kobsa, 2001).

Os modelos de usuário são importantes porque representam informações sobre o usuário de tal forma que o sistema possa operar com maior eficiência, em função de grupos com características similares. Devido aos indivíduos possuírem diferentes conhecimentos, preferências e objetivos, existem situações em que o tratamento individualizado do usuário, baseado na informação de um modelo de usuário, pode oferecer vantagens.

4.6. Considerações Finais

Neste capítulo foram apresentados os conceitos sobre Sistemas Adaptativos, sua arquitetura básica, a modelagem do usuário e Interfaces Adaptativas relevando sua contribuição para os sistemas de informação.

Nota-se que praticamente toda interação do usuário com um sistema de informação é feita por meio da interface. Dessa forma, para o usuário a interface é considerada o próprio sistema e desempenha um papel importante no sistema como um todo. Sua qualidade tem grande influência no sucesso de um *software* (Foley et al., 1995). As interfaces estão ficando cada vez mais complexas, sendo assim, é necessário o estudo e o desenvolvimento de interfaces adaptativas (inteligentes) com o objetivo de ajustar seu desempenho às necessidades e preferências dos usuários, assim como personalizar e melhorar a interação homem-máquina baseada nas características e comportamentos dos diversos usuários.

Sistemas Correlatos

Com a finalidade de avaliar sistemas correlatos a este trabalho, este capítulo aborda uma visão geral de trabalhos correlatos as áreas relacionadas à pesquisa. Primeiramente é apresentado o diagrama contendo as aplicações relacionadas às áreas de pesquisa. São descritas algumas das ferramentas de auxílio no desenvolvimento de aplicações com Realidade Aumentada, Sistemas Adaptativos e aplicações de Visualização de Informação.

Em seguida, faz-se uma breve descrição e apresentam-se características dos conjuntos de aplicações que associam técnicas de Sistemas Adaptativos com Realidade Aumentada, Visualização de Informação com Sistemas Adaptativos e técnicas de Visualização de Informação com Realidade Aumentada.

5.1. Terminologia e critérios para a pesquisa

Com intuito de avaliar o estado das pesquisas relacionadas a este trabalho, foram pesquisadas e analisadas vinte e nove (29) sistemas que se enquadram no âmbito das três principais áreas de estudo desta pesquisa:

1. **Realidade Aumentada:** Sistemas que suplementam o ambiente real com objetos virtuais gerados por computador atuando em tempo real.
2. **Visualização de Informação:** Sistemas que permitem transformar um conjunto de dados abstratos, nos quais se procura informação, em uma representação visual compreensível e manipulável pelo usuário que mereceram destaque, em função de características similares às proposições impostas nesta tese.
3. **Sistemas Adaptativos:** Sistemas que são capazes de identificar a necessidade de adaptação e realizá-la automaticamente. Várias de suas técnicas são amplamente aplicadas em Filtragem de Informação, Recuperação de Informação, Sistemas Tutores Inteligentes e também em Hiperídia Adaptativa. As aplicações derivadas destes campos de estudo exercem uma função adaptativa em relação a alguns de seus aspectos e, portanto podem ser classificados como sistemas de *software* adaptativos. A diferença entre essas aplicações reside, basicamente, no alvo da adaptação (conteúdos e/ou ligações), no conhecimento necessário ao sistema (do domínio, do usuário e/ou da adaptação) e na tecnologia utilizada para gerar a personalização, isto é, na forma de representação do

modelo, no procedimento usado para gerar as deduções e nas técnicas para produzir a adaptação (dedução, indução, analogias).

O diagrama apresentado na Figura 16 mostra a relação das áreas discutidas neste trabalho e os sistemas analisados sobre seus respectivos campos de pesquisa. Os sistemas sobrepostos às intersecções das áreas são correlacionados às mesmas e apresentam características de ambas. O centro do diagrama apresenta-se vazio, pois, até o momento, não foram encontrados trabalhos publicados que envolvem a unificação das três áreas.

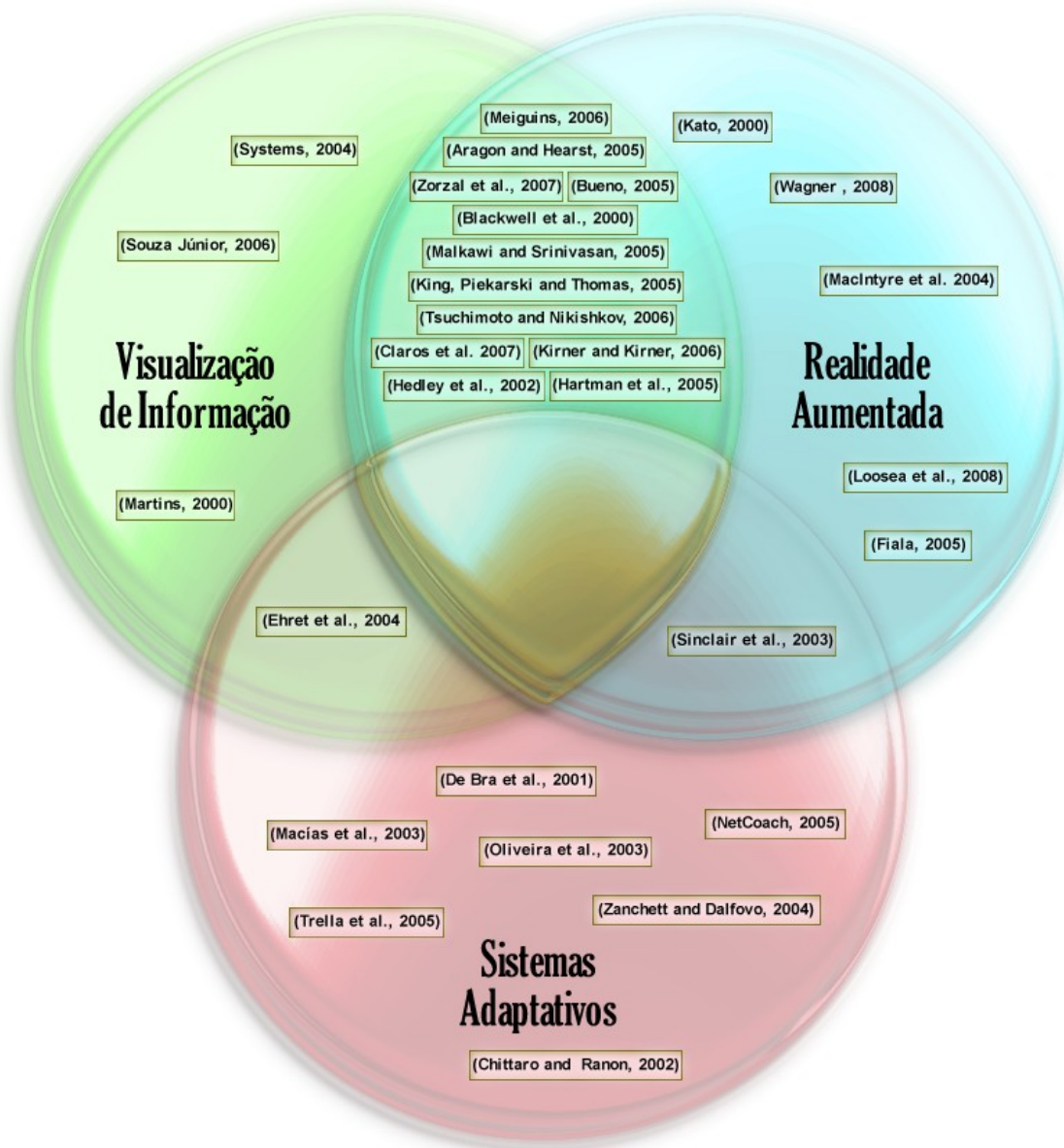


Figura 16 – Aplicações correlatas à pesquisa.

5.2. Ferramentas para desenvolver soluções de Realidade Aumentada

O desenvolvimento das ferramentas de Realidade Aumentada tem sido contínuo e tende a tornar-se cada vez mais sofisticado e completo, adquirindo maior velocidade de processamento e maior estabilidade no reconhecimento de objetos (Guimarães, Gnecco and Damazio, 2007). A seguir é apresentada uma série de ferramentas construídas para apoiar o desenvolvimento de aplicações de Realidade Aumentada.

5.2.1. ARToolkit

ARToolkit (*Augmented Reality Toolkit*) (Kato, 2000) é uma biblioteca, com código aberto e gratuita, apropriada para desenvolver aplicações de Realidade Aumentada. Essa biblioteca faz uso de técnicas de Visão Computacional para o reconhecimento de padrões e inserção dos objetos virtuais no ambiente real.

A estratégia de concepção de soluções com uso da ARToolkit fundamenta-se em um conjunto de procedimentos. Inicialmente a imagem capturada pela câmera é transformada em valores binários (preto e branco). Essa imagem é analisada pelo *software*, procurando por regiões quadradas que possam indicar a existência de uma marca. Assim, quando uma marca (marcador¹⁰) é reconhecida, ele examina o interior da mesma fazendo uma busca pelo símbolo desenhado. Em seguida, este símbolo é capturado e comparado com os símbolos pré-cadastrados na biblioteca. Por fim, se for encontrada alguma similaridade entre símbolos capturados com símbolos pré-cadastrados é considerado então que foi encontrado um dos padrões de referência. Dessa forma, a ARToolkit utiliza o tamanho conhecido do quadrado e a orientação do padrão encontrado para calcular a posição real da câmera em relação a posição real do marcador. Assim, uma matriz 3x4 é gerada, contendo as coordenadas reais da câmera em relação ao marcador. Esta matriz é usada para calcular a posição das coordenadas da câmera virtual. Se as coordenadas virtuais e reais da câmera forem iguais, o objeto virtual é desenhado precisamente sobre o marcador real. A Figura 17 apresenta uma aplicação (MagicBook), desenvolvida pela Universidade de Canterbury, que utiliza a ARToolkit.

¹⁰ Os marcadores reconhecidos por sistemas provenientes da biblioteca ARToolkit consistem em figuras geométricas quadradas, que contêm no seu interior símbolos para identificá-los.



Figura 17 – Uso do ARToolKit: MagicBook (Grasset, et al. 2007).

5.2.2. ARToolKit Plus

A ARToolKitPlus (Wagner , 2008) é uma biblioteca baseada na ARToolKit. Foi desenvolvida pela *Graz University Technology* e fez parte do projeto *Studierstube* (Schmalsteig, et al. 1996). Esta biblioteca apresenta algumas otimizações como, por exemplo, a possibilidade de se utilizar computações de ponto fixo ao invés de ponto flutuante, com o intuito de gerar aplicações eficientes para dispositivos móveis, tais como PDAs (*Personal digital assistants*) e *smartphones* (Figura 18). Os marcadores utilizados por esta biblioteca são semelhantes aos da ARToolKit, com a diferença que o desenho no interior do quadrado de bordas pretas consiste em uma codificação do identificador do marcador. Essa codificação possibilita que o usuário utilize até 512 diferentes marcadores, diminuindo a ocorrência da confusão entre marcadores diferentes.

Uma das importantes características presente na ARToolKitPlus é a utilização da técnica de limiar adaptativo, a qual permite o ajuste automático do sistema de detecção dos marcadores conforme as alterações sofridas pela a luz do ambiente, capturado pela câmera.



Figura 18 – Aplicações com ARToolKitPlus (Wagner, 2008).

5.2.3. ARTag

A ferramenta ARTag (Fiala, 2005) é um sistema de detecção de marcadores baseado na biblioteca ARToolKit, ela foi desenvolvida pelo *National Research Council of Canada* e consiste-se em uma biblioteca de padrões e que ao serem colocados em uma superfície plana e

visualizados por uma câmera de vídeo ou *webcam*, podem ser precisamente rastreados. Seu objetivo foi resolver alguns problemas encontrados na ARToolKit, principalmente no processo de detecção de marcadores, tais como o problema do falso positivo: quando o sistema acusa a presença de um marcador, mas ele não existe; o problema do falso negativo: quando sistema não acusa a presença de um marcador, mas ele existe; e o problema de confusão: quando o marcador no ambiente é um e o sistema o identifica como sendo outro. A Figura 19 apresenta o sistema *Magic Mirror* que foi desenvolvido utilizando o ARTag.



Figura 19 – Sistema Magic Mirror (Fiala, 2005).

ARToolKit e o ARTag utilizam padrões para identificação dos marcadores, porém o ARTag compara códigos digitais compostos de 0's e 1's, ao invés de imagens como a ARToolKit, diminuindo o processamento requerido para sua identificação. Outra característica do ARTag é que ele detecta a presença de oclusão e controle de luz, que são pontos falhos da ARToolKit.

5.2.4. DART

DART (*Designer's Augmented Reality ToolKit*) (MacIntyre et al. 2004) é uma ferramenta de autoria para construção de conteúdos multimídia a partir de um conjunto de extensões do ambiente de programação multimídia Macromedia Director (atualmente Adobe Director).

O DART é um conjunto de ferramentas que provêem um desenvolvimento rápido com Realidade Aumentada e foi desenvolvido pelo GVV Center no *Georgia Institute of Technology*. Ele é composto por extensões do Director escritas na linguagem LINGO e *plugins* escritos na linguagem C++, além de usar como suporte para a captura de vídeo, rastreamento e para o processo de reconhecimento de marcadores a biblioteca ARToolKit.

Esta ferramenta é voltada para aplicações onde a mídia gerada por computador é diretamente integrada à percepção dos participantes. Ela suporta o sistema operacional

Windows e MacOSX. Apesar de estar disponível para uso livremente, ele exige o Adobe Director, que é um *software* comercial. A Figura 20 apresenta um exemplo construído com o ambiente DART.



Figura 20 – Aplicação com DART (MacIntyre et al. 2004) .

5.2.5. OSGART

A biblioteca OSGART (Loosea et al., 2008) facilita o desenvolvimento de aplicações de Realidade Aumentada, ela combina as funções de detecção e rastreamento de marcadores da ARToolKit com as funções para construção de modelos virtuais da biblioteca OpenSceneGraph. A OSGART apresenta alta qualidade na renderização dos objetos virtuais e permite a importação e exportação de arquivos gerados pelo 3D Studio Max e Maya.

Dentre as características da OSGART, as que mais se destacam são: a facilidade de integração com vídeos; suporte a várias entradas de vídeo; suporte a técnicas de renderização de sombras; suporte a múltiplos marcadores; se constitui pelo paradigma orientado a objeto e possui suporte a várias linguagens de programação. A Figura 21 apresenta um exemplo desenvolvido com a biblioteca OSGART.

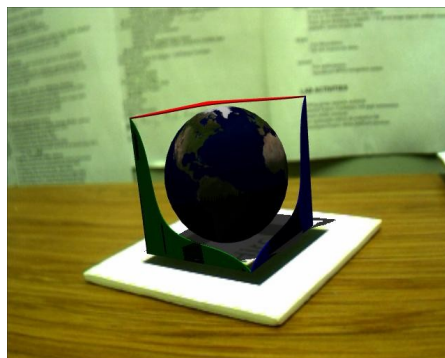


Figura 21 – Aplicativo desenvolvido com OSGART (Loosea et al., 2008).

5.3. Aplicações de Sistemas Adaptativos

Esta seção apresenta uma série de aplicações adaptativas, a maioria delas se enquadra no campo de estudos de Sistemas de Hipermídia Adaptativa. Procurou-se observar as técnicas utilizadas para fornecer adaptação, assim como aspectos gerais do funcionamento de cada uma das aplicações.

5.3.1. AdaptWeb

O *software* livre AdaptWeb (Oliveira et. al., 2003) foi desenvolvido por duas universidades, a Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e a Universidade Estadual de Londrina (UEL), com o objetivo de auxiliar professores na autoria de material educacional na Web. É desenvolvido em PHP e o armazenamento de dados é feito por meio do MySQL. O sistema deve estar instalado em um servidor Web para posteriormente ser acessado pelo usuário através de um navegador. A Figura 22 apresenta a interface do *software* AdaptWeb no modo de estruturação de conteúdo.



Figura 22 – Interface do AdaptWeb no modo estruturação de conteúdo (Oliveira et. al., 2003).

Sua arquitetura (Figura 23) é formada por cinco componentes: Autoria, Armazenamento, Definição Tecnológica do Ambiente, Seleção de Conteúdo Adaptativo e Apresentação Adaptativa. O Componente de Autoria é o elemento responsável pelos conteúdos, fragmentados em conceitos, que posteriormente serão apresentados ao aluno. O Componente de Armazenamento é o responsável pela transformação dos materiais educacionais que foram depositados no ambiente, de forma hierárquica, em arquivos XML e HTML.

O Componente de Definição Tecnológica do Ambiente refere-se ao perfil tecnológico do ambiente de trabalho do aluno e fica armazenado no modelo de aluno, juntamente com as preferências e seu estilo cognitivo de aprendizagem. Na medida em que o aluno interage com o sistema, seu perfil (modelo de aluno) é construído dinamicamente.

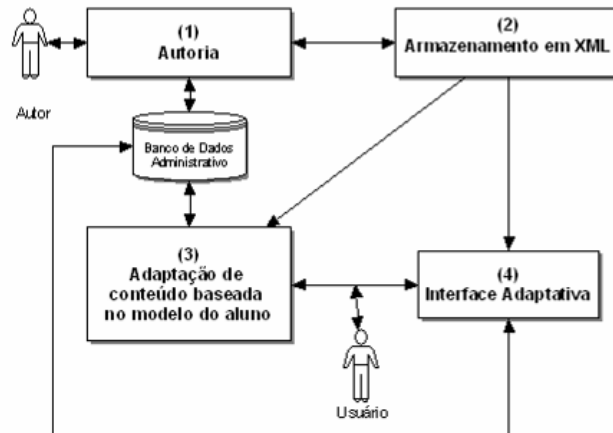


Figura 23 – Arquitetura do AdaptWeb (Oliveira et. al., 2003).

O Componente de Seleção de Conteúdo Adaptativo é o responsável por fazer a seleção, tendo como base as informações contidas no modelo de aluno, dos conteúdos que posteriormente serão exibidos ao aluno. Tais conteúdos, que estão estruturados nos arquivos XML e HTML, são apresentados ao aluno pelo Componente de Apresentação Adaptativa, o qual também utiliza informações contidas do modelo de aluno. Dessa forma, o AdaptWeb propicia adaptação tanto na navegação, como na apresentação de conteúdos.

5.3.2. AHA!

O AHA! (De Bra et. al., 2001) foi desenvolvido pela Universidade de Tecnologia de Eindhoven. Um sistema modelado com o AHA! é composto por três elementos: um modelo do domínio, um modelo de usuário e um modelo de adaptação. O modelo do domínio é formado por conceitos e relações entre eles, onde cada página deve incluir pelo menos um conceito. Tal página pode ser dividida em fragmentos e dependendo do perfil do usuário, alguns desses fragmentos podem ser omitidos. As páginas são agrupadas em seções, capítulos ou outra estrutura de maior nível. A Figura 24 apresenta a interface da aplicação Interbook (Ramb et al., 2005) que utiliza o AHA! como suporte.

O modelo de usuário consiste de atributos que podem representar conhecimento ou interesse do usuário acerca do conceito. Para cada conceito existente no modelo do domínio, existe um correspondente no modelo de usuário, o qual ainda pode conter conceitos que não possuem significado no domínio.

O AHA! possibilita adaptação ao usuário na apresentação de conteúdos e nos caminhos de navegação. Na apresentação de conteúdos, a adaptação é realizada por meio da definição de regras associadas a elementos no modelo de usuário, definindo-se quais

fragmentos serão exibidos ao aluno. A adaptação fornecida na navegação é feita através do preenchimento ou não de requisitos no estado atual do modelo de usuário.

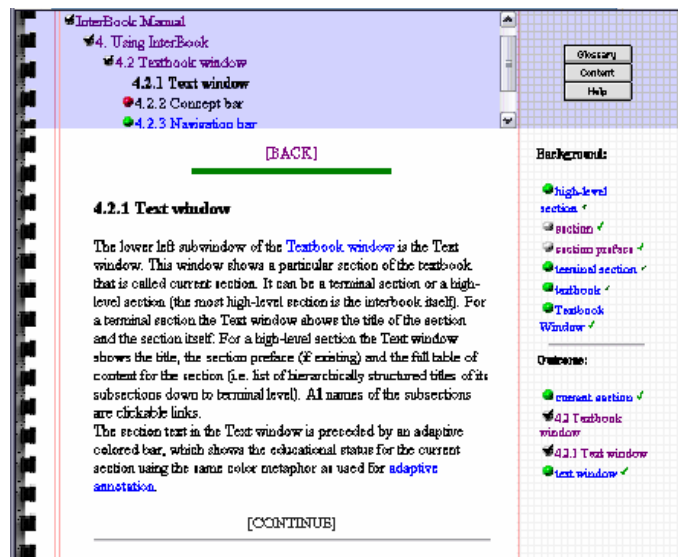


Figura 24 – Aplicação Interbook utilizando AHA! (De Bra et. al., 2001).

A Figura 25 mostra a arquitetura global do AHA! e seus componentes. A combinação do modelo de domínio e adaptação (DM/AM) representa o modelo da estrutura conceitual da aplicação e as regras de adaptação. As informações utilizadas para a adaptação da aplicação é obtida através de anotações da interação do usuário com o sistema e armazenadas no Modelo do Usuário (UM). O DM/AM e UM são usados para decidir o que deve ser adaptado no sistema.

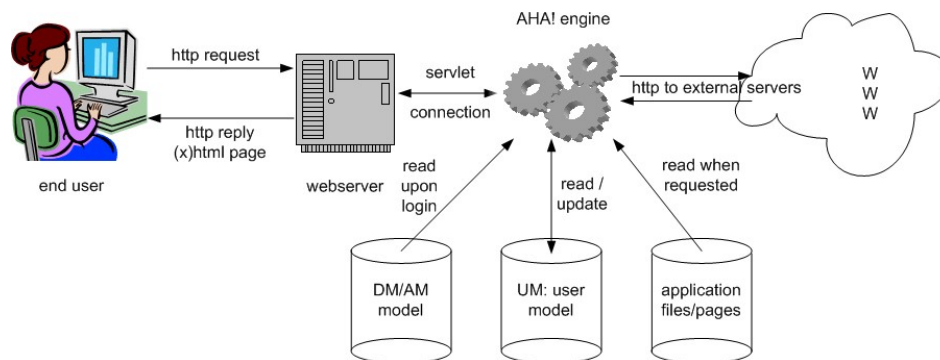


Figura 25 – Arquitetura global do AHA! (De Bra et. al., 2001).

5.3.3. ATLAS

A ferramenta ATLAS (Macías et. al., 2003), desenvolvida pela Universidade Autônoma de Madrid (UAM) através do projeto INTEREDU, possui uma interface gráfica desenvolvida em Java e pode ser executada em qualquer sistema operacional que possua o Kit de Desenvolvimento Java (JDK) na versão 1.2 ou superior.

O ATLAS foi desenvolvido com base na estrutura do Tangow, um sistema baseado na Web que fornece suporte à autoria de cursos adaptativos (Carro et al., 2001). O resultado originado pelo ATLAS é um modelo de curso pronto para ser processado pelo Tangow. Na interface gráfica do ATLAS existe um item que possibilita a geração do curso que posteriormente devem ser fornecidas ao Tangow. A interface gráfica do ATLAS é subdividida em três elementos que auxiliam a definição dos seguintes modelos: tarefas, conteúdos e aluno. A arquitetura do ATLAS é apresentada na Figura 26.

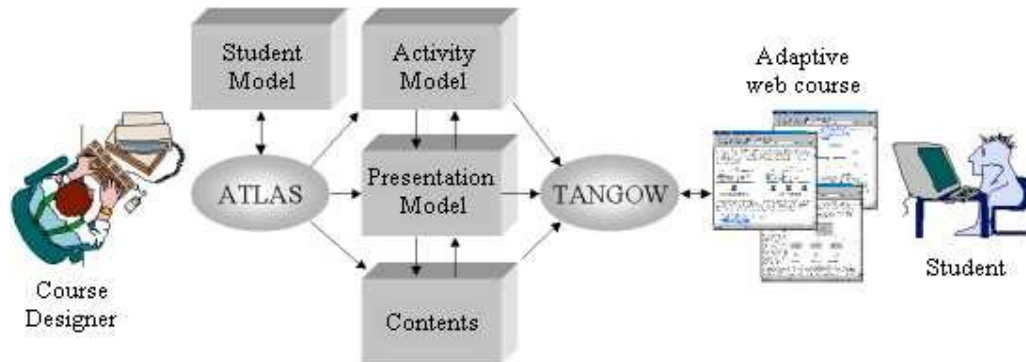


Figura 26 – Arquitetura do ATLAS (Macías et. al., 2003).

No ATLAS, ao invés de conceitos, existem tarefas que representam os objetivos de aprendizagem que o usuário deve atingir. No modelo de tarefas é representado, de forma hierárquica, a estrutura do curso a ser modelado com as dependências relativas entre tarefas. Tal estrutura de derivação acaba por formar uma árvore de tarefas. O modelo de conteúdos é composto por conjuntos de fragmentos de páginas HTML que representam as partes do curso. Cada tarefa deve ser associada com unidades de conteúdos correspondentes, podendo estar associada com vários fragmentos de páginas. O modelo de aluno é composto por um conjunto de atributos relativos ao conhecimento que o aluno possui sobre determinados conceitos inerentes as tarefas.

A adaptação é feita através de um raciocínio baseado em regras, o qual é realizado por meio de nodos intermediários definidos entre cada tarefa e suas possíveis ramificações. Cada nodo tem o papel de controlar qual, ou quais, ramificações da árvore de tarefas serão exibidas. A ativação de um ou outro ramo é determinada por um predicado, no qual devem ser definidas condições associadas com atributos do modelo de usuário e com o comportamento do aluno durante a execução do curso. De acordo com os resultados de tais condições, define-se qual ramificação irá ser seguida. Desta forma, a estrutura do curso a ser exibida ao usuário é gerada em tempo de execução.

5.3.4. MEDEA

MEDEA (Trella et. al., 2005) é uma plataforma baseada na Web e JSP e que fornece suporte à autoria de cursos adaptativos, desenvolvida pelo Grupo de Investigação de Aplicações em Inteligência Artificial da Universidade de Málaga (UMA). MEDEA tem como objetivo fundamental prover aos professores uma ferramenta para desenvolver ambientes educacionais inteligentes baseados na Web, por meio da reutilização de materiais já existentes e fornecer aos alunos um ambiente educacional no qual eles tenham um tutor encarregado de auxiliá-los no processo de aprendizagem.

A arquitetura do MEDEA (Figura 27) é composta por dois elementos: os recursos de aprendizagem e o núcleo. Os recursos de aprendizagem são os ambientes educacionais externos que realizam tarefas pedagógicas concretas (livros eletrônicos, sistemas de simulação, ferramentas de avaliação, etc.). Do ponto de vista do MEDEA, cada um destes recursos possui seu próprio modelo de domínio, uma interface de desenvolvimento para a autoria de conteúdos, uma interface do aluno e seu próprio modelo de aluno, o qual contém informações relevantes para serem transmitidas ao MEDEA. Já o núcleo do MEDEA é composto pelos seguintes elementos: o ambiente, o modelo do domínio, o modelo de aluno, o planejador instrucional e o administrador de conexão. O modelo de aluno no MEDEA possibilita a representação de um modelo comportamental do aluno, no qual se representam propriedades relevantes ao processo de aprendizagem.

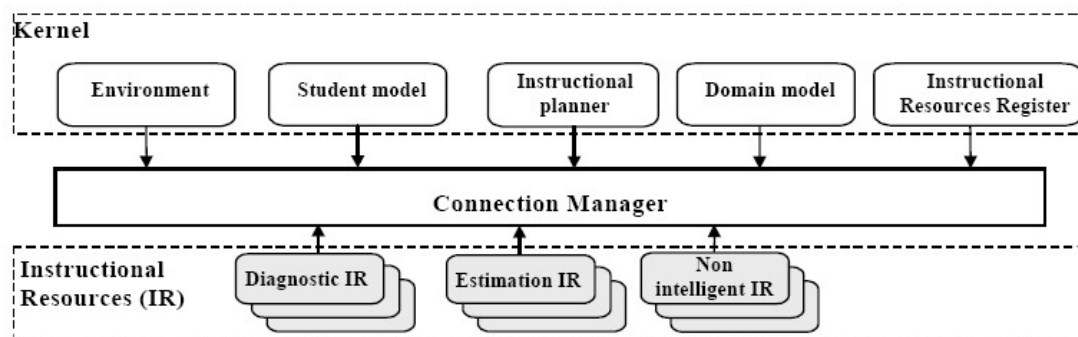


Figura 27 – Arquitetura do MEDEA (Trella et. al., 2005).

O planejador instrucional é um componente encarregado de guiar o aluno durante o processo de aprendizagem e conseqüentemente, de prover adaptação ao aluno quando o mesmo estiver sendo guiado. Tal processo de adaptação é composto por dois processos: micro-adaptação e macro-adaptação. O primeiro é responsável por selecionar os conceitos a serem ensinados ao aluno e o recurso instrucional mais adequado para tal fim. A macro-adaptação é encarregada de definir como apresentar o conceito ao aluno através do recurso

instrucional selecionado. Por fim, o administrador de conexão é o componente responsável por gerir toda a comunicação existente entre os componentes do MEDEA.

5.3.5. NetCoach

O NetCoach (NetCoach, 2005) é uma plataforma desenvolvida e disponibilizada comercialmente pela ORBIS. Ele é executado pelo usuário em um navegador e deve ser instalado em um servidor Web com sistema operacional Windows, Linux ou Apple. A ferramenta de autoria NetCoach possibilita a realização de um processo completo de desenvolvimento de cursos adaptativos baseados na Web, o que inclui a autoria de material educacional, composição de testes, definição de objetivos de aprendizagem e adaptação do sistema e comportamento da interface gráfica do curso (Weber, 2001). Entre os recursos educacionais disponíveis no NetCoach existem algumas ferramentas, tais como o fórum de discussões e a ferramenta de *Chat*, que possibilitam a comunicação entre os utilizadores de um curso, tanto de forma assíncrona, como síncrona.

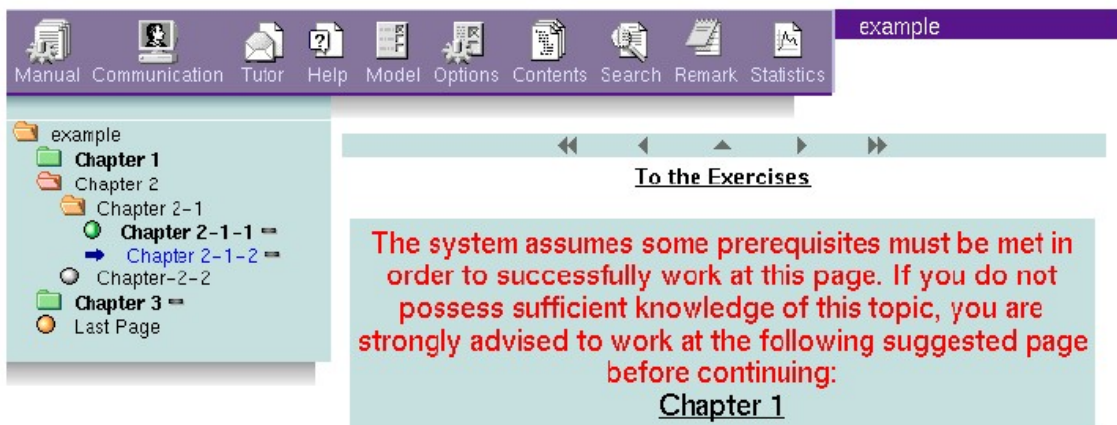


Figura 28 – Interface da aplicação NetCoach (Weber, 2001).

O modelo de domínio é chamado de “base de conhecimento”, a qual contém os conceitos organizados de forma hierárquica, podendo estar relacionados por meio da especificação de pré-requisitos ou inferências, nas quais se possibilita que o sistema entenda que se um conceito A é conhecido pelo aluno, um conceito B também o será. A base de conhecimento ainda possui os chamados “itens de teste” que possuem a função de avaliar o estado atual do conhecimento do aluno acerca de um conceito.

O modelo de usuário permite definir se um aluno já visitou a página correspondente ao conceito, que itens de teste ou exercícios ele visitou, se obteve sucesso na realização dos mesmos, se um conceito pode ser inferido como já aprendido e se o aluno marcou algum conceito como já aprendido. O modelo de usuário ainda pode conter um modelo do histórico

do aluno, no qual se armazena seu histórico de navegação. O NetCoach possibilita a definição de objetivos de aprendizagem que o aluno deve atingir, que podem corresponder apenas a algumas partes do curso.

A adaptação de um curso é realizada em relação aos objetivos, preferências e conhecimento do aluno. Tais informações podem proporcionar adaptação em relação à navegação ou apresentação de conteúdos. Para realizar tais adaptações o NetCoach faz comparações do modelo de usuário com a base de conhecimento, comparando o preenchimento de pré-requisitos no estado atual de aprendizagem do aluno.

5.3.6. SAMI

O Sistema de Aprendizagem para a Maior Idade (SAMI) (Zanchett and Dalfovo, 2004) é um espaço interativo através da Internet na área de Educação para a aprendizagem continuada de adultos da Maior Idade nos cursos de Informática do Programa de atualização Permanente (PROAP) da Universidade Regional de Blumenau (FURB). A Figura 29 apresenta a interface do sistema de aprendizagem para a maior idade.



Figura 29 - Interface do SAMI (Zanchett and Dalfovo, 2004).

O SAMI comporta que todos os idosos identificados possuem uma interface personalizada ao seu perfil. A arquitetura possui as informações localizadas no servidor a partir das informações que o usuário possui armazenadas na base do modelo de usuário especificamente na tabela de configuração de Sistema, ou seja, a interface adaptativa executa dois processos importantes: (1) a apresentação de conteúdos, categorias e links adaptados ao Modelo do Usuário e (2) a coleta de informações relevantes para mantê-lo atualizado. A

programação da adaptação pode ser vista como uma função que tem por entrada a informação proveniente do Modelo do Usuário na base de modelos do usuário, as configurações do sistema e os links do ambiente segundo a fonte de hipermídia produzindo como saída a interface adaptativa do portal. Deve ser capaz de verificar se o código da apresentação contém características adaptativas, que serão determinadas a partir da definição de regras para definir o reconhecimento do usuário e frequência de acesso.

5.3.7. AWE3D

O AWE3D (*Adaptive Web 3D*) foi desenvolvido pela Universidade de Udine na Itália. É um ambiente virtual tridimensional adaptativo, desenvolvido em VRML, que consiste em uma loja virtual, onde os usuários podem navegar e obter informações sobre os produtos desta loja. As informações sobre os interesses e características dos usuários, utilizadas para a personalização do ambiente, são coletadas através de formulários e monitoração das ações do usuário no ambiente. A aplicação possui objetos que se deslocam no ambiente para auxiliar o usuário na navegação e localização de produtos específicos.

Um modelo inicial é coletado a partir da aplicação de formulários, onde são requisitadas diversas informações a respeito das características e preferências do usuário. Caso o usuário não informe todas as informações solicitadas, são utilizados estereótipos para produzir previsões sobre os interesses e preferências. A atualização do modelo inicial é realizada a partir da análise do comportamento do usuário. A Figura 30 apresenta o ambiente do sistema.



Figura 30 - Interface da loja virtual (Chittaro and Ranon, 2002).

5.4. *Sistemas de Visualização de Informação*

Esta seção apresenta uma série de aplicações de Visualização de Informação que possuem suas representações relacionadas com Realidade Virtual e Realidade Aumentada.

5.4.1. Ferramenta Colaborativa para Visualização Tridimensional de Dados

Desenvolvida pelo Centro Universitário do Pará, em conjunto a Universidade Federal do Pará, a Ferramenta Colaborativa para Visualização Tridimensional de Dados (Sousa Junior, 2006) tem como função criar um ambiente, em que os usuários podem compartilhar a visualização e trocar informações, pela Web. A visualização dos dados é feita em um ambiente virtual tridimensional, no qual o usuário pode interagir com as representações por meio de zoom, rotação, translação, etc.

Ao passar o mouse sobre um determinado gráfico, é possível verificar os seus detalhes específicos. Além disso, existe a possibilidade de personalizar algumas características da visualização dos dados, como por exemplo, pode-se escolher os atributos dos eixos e os valores de seus intervalos. Após a visualização construída, o usuário pode remover ou adicionar dados e/ou atributos. Existem duas visões, sendo uma compartilhada e outra individual (onde o usuário pode realizar as interações com o sistema). A Figura 31 apresenta a interface desta aplicação.

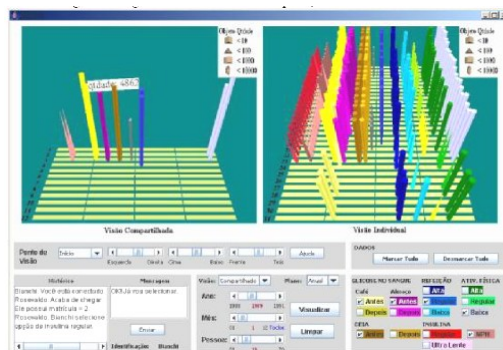


Figura 31 - Interface do *software* (Sousa Junior, 2006).

Os usuários devem ser identificados por *login* e senha e a troca de informação entre eles é feita em modo texto. Todos os usuários têm permissões iguais no ambiente compartilhado e como não possuem nenhum mecanismo para o controle de concorrência, faz-se necessário o uso de um protocolo social, ou seja, os usuários devem conversar entre si e decidir quem vai alterar o ambiente compartilhado em determinado momento. O protótipo tem como objetivos: permitir a análise dos dados simultaneamente por mais de um usuário; eliminar a barreira geográfica quando necessário; eliminar a necessidade de conhecimento de tecnologia de acesso a banco de dados; facilitar a análise de grande quantidade de dados; e facilitar a colaboração entre usuários.

Nas visualizações geradas foram utilizadas cores e formas geométricas diferentes para representar os dados e suas grandezas. As cores fornecem os diversos atributos e a forma está relacionada ao valor numérico do dado. Para saber o valor real de qualquer atributo, basta passar o mouse sobre o dado desejado. A Figura 32 apresenta a arquitetura geral do sistema.

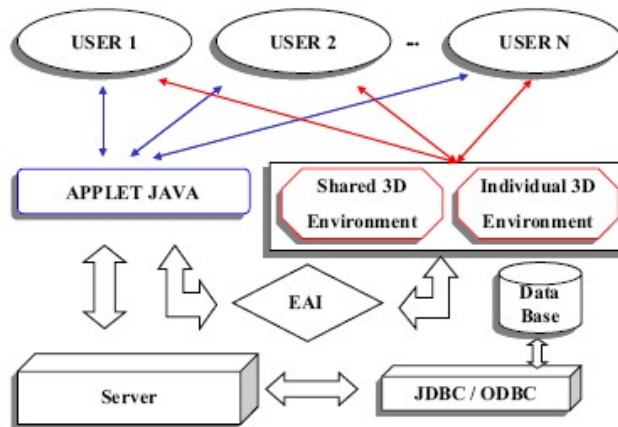


Figura 32 - Arquitetura do *software* (Souza Junior, 2006).

5.4.2. InfoVis

Desenvolvido pela Universidade Federal de São Carlos, o InfoVis (Information Visualizer) (Martins, 2000) é uma ferramenta construída para visualizar informações em um ambiente virtual, do Museu de Cerqueira César situado na cidade de São Carlos, Brasil.

O objetivo do sistema é gerar representações gráficas sobre o Museu de Informações como: a frequência de visitas diárias, semanais e mensais do Museu; tipos e características dos objetos armazenados; informações sobre os retratos e pinturas; etc.

O usuário poderá navegar no sistema e visualizar as informações do seu interesse por meio dos gráficos, em formato pizza ou barra, apresentados na tela. As cores dos gráficos são distintas a ponto de diferenciar os tipos de dados a serem representados. A Figura 33 ilustra uma das interfaces da aplicação.



Figura 33 - Ambiente do *InfoVis* (Martins, 2000).

5.4.3. 3D Active Chart

A ferramenta 3D Active Chart, desenvolvido pela *First Information Systems* (Systems, 2004) é um visualizador tridimensional de informações, no qual os dados são obtidos por meio de tabelas exportadas de um banco de dados.

As informações são apresentadas por gráficos construídos em VRML (*Virtual Reality Modeling Language*) (Ames, 1997) e pelos registros apresentados em uma grade. A cor das linhas dos registros apresentados nesta grade são as mesmas utilizadas nos gráficos. Ao clicar em um gráfico na cena é possível visualizar seus valores correspondentes na grade. Além disso, pode-se ainda selecionar um ou mais registros na grade e visualizá-los como gráficos tridimensionais na cena.

É possível agrupar e filtrar os registros, de forma que facilite a manipulação e visualização. O usuário pode modificar o gráfico, alterando as informações que serão mostradas, a ordem de apresentação, a cor e o formato do gráfico. A Figura 34 apresenta a interface do 3D Active Chart.

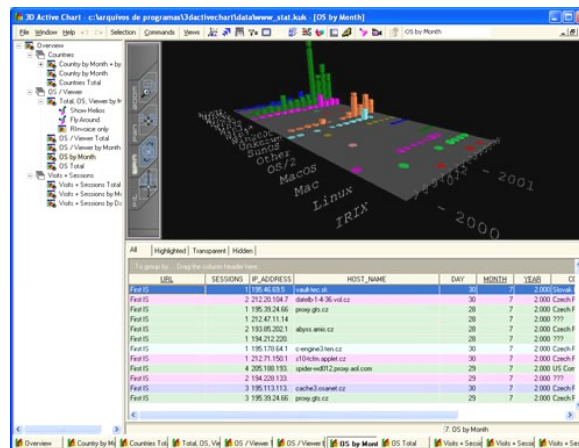


Figura 34 - Interface do 3d Active Chart (Systems, 2004).

5.5. Aplicações de Sistemas Adaptativos com Realidade Aumentada

A área de Sistemas Adaptativos constitui-se em um campo profissional atraente e promissor, pois esses sistemas são realmente úteis e podem aumentar a usabilidade das interfaces e a satisfação dos usuários. Percebe-se que, na prática, esses sistemas ainda não estão sendo efetivamente utilizados (Silva and Da Silva, 2007). Esta sessão apresenta uma aplicação que utiliza técnicas de Sistemas Adaptativos com Realidade Aumentada.

5.5.1. Sistema de Realidade Aumentada com técnicas de Hipermissão Adaptativa

Sinclair et al. (2003) apresentam um sistema de Realidade Aumentada integrado com técnicas de Hipermissão Adaptativa (Sinclair et al., 2003) para visualizar e compreender partes de aviões virtuais em miniatura. O sistema foi desenvolvido pelo Grupo de Multimídia, Agentes e Inteligência da Universidade de Southampton da Inglaterra. Foi fundamentado na ARToolKit e comporta diversas técnicas de interação e adaptação. Por meio da interação do usuário, o sistema se comporta adaptando as ligações de cada parte dos componentes e os modifica no decorrer do uso da aplicação.

Os modelos virtuais dispostos no ambiente do usuário são representados de acordo com suas preferências. Um sistema de rótulos foi criado para identificar cada parte do avião, seus modelos representativos são desenvolvidos em VRML e OpenGL.

Utilizando técnicas multimodais, os usuários definem como o ambiente deve ser apresentado. A Figura 35 apresenta o ambiente do sistema.

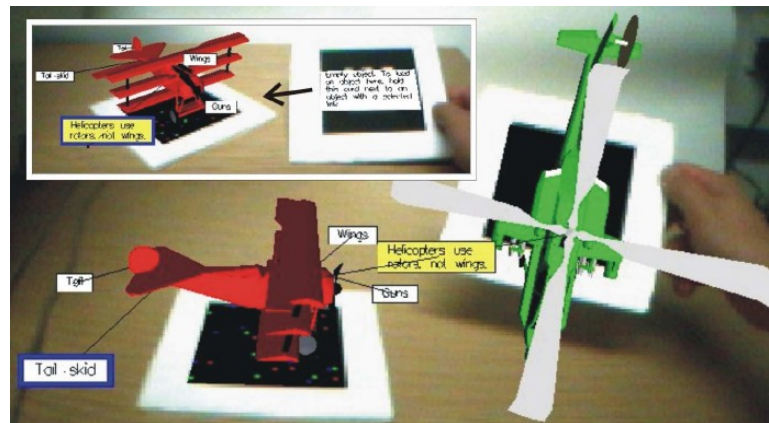


Figura 35 – Ambiente do sistema (Sinclair et al., 2003).

5.6. Aplicação de Visualização de Informação com Sistemas Adaptativos

Esta seção apresenta uma aplicação de Visualização de Informação com técnicas de Sistemas Adaptativos.

5.6.1. Framework para visualização adaptativa

Foi desenvolvida pela Universidade de Kaiserslautern na Alemanha que consiste em um framework para adaptar vários tipos de informação para diferentes clientes (Ehret et al., 2004). O sistema pode ser utilizado em computadores desktop e PDAs. A adaptação pode

modificar o layout dos elementos dos grupos de informação como a aparência de um elemento único.

O framework é composto por duas partes principais: A camada de dados e a camada de apresentação. A camada de dados realiza a relação entre o banco de dados e a aplicação. Esta camada contém todas as informações sobre o WWTP (*Wastewater Treatment Plant*) e arquivos externos de mídia como imagens e vídeos. A camada de apresentação gera dinamicamente as páginas que são ajustadas ao tamanho da tela do dispositivo do cliente. Essa camada utiliza a tecnologia JSP (*JavaServer Pages*) para realizar suas tarefas. Os resultados podem ser visualizados nos browser dos clientes em páginas HTML.

A adaptação automática para os dispositivos dos clientes é feita por meio de um agente no sistema de visualização. Quando o cliente acessa o servidor pela primeira vez o agente coleta informações sobre a capacidade técnica do dispositivo, define o sistema corrente e ajusta as informações para o dispositivo do usuário. A Figura 36 apresenta o ambiente do sistema.



Figura 36 – Ambiente do sistema (Ehret et al., 2004).

5.7. *Sistemas de Visualização de Informação com Realidade Aumentada*

A comunidade internacional e brasileira de Computação já vem associando técnicas de Visualização de Informação com Realidade Aumentada. Esta seção apresenta alguns desses trabalhos.

5.7.1. *Sistemas de sensores Wireless Biométricos com Realidade Aumentada*

Claros et al. (2007) apresentam um sistema de Realidade Aumentada baseado na ARToolKit. Este sistema foi desenvolvido pelo Grupo ISIS do Departamento de Tecnologia

Eletrônica (ETSI) da Universidade de Málaga e foi aplicado na monitoração de informações em tempo real de diferentes tipos de sensores ligado à pacientes em um centro de tratamento. Sistemas de sensores *Wireless* (WSN)¹¹ vêm sendo intensamente usados em ambientes de cuidados com a saúde para coletar sinais biométricos de pacientes.

O sistema desenvolvido apresenta imagens contendo dados identificados e gráficos relacionados às medidas feitas pelos sensores do sistema em um ambiente real (conforme Figura 37). Assim o usuário não precisa especificar qual coleta de dados será usada a cada momento. A aplicação possui dois componentes principais: o WSN que consiste em ajustar as redes coletando informações biométricas e salvando-as em uma base de dados e o módulo de Realidade Aumentada que é capaz de reconhecer cada sensor e apresentar os dados em forma visual.

Primeiramente é necessário transformar os dados vindos dos sensores em uma imagem com informação gráfica (OpenGL) para que ela possa ser usada pela aplicação de Realidade Aumentada.

A localização e a orientação do gráfico na imagem são calculadas pela ARToolKit por meio dos marcadores. Uma vez que o marcador é reconhecido pela aplicação de Realidade Aumentada que está no computador central, ela procura por duas informações associadas na base de dados ao marcador, conseqüentemente a um sensor específico: identificação e dado evidente.

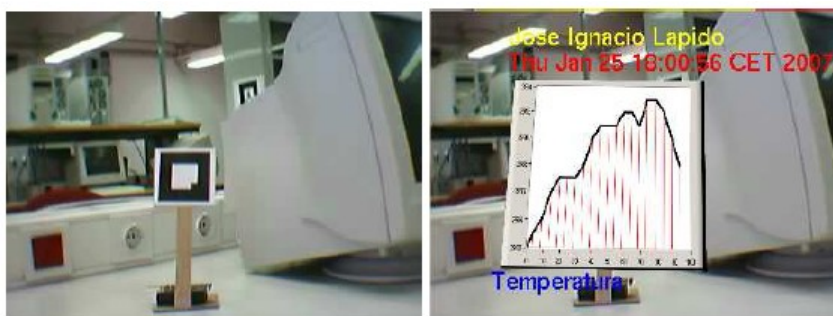


Figura 37 – Gráfico utilizado no sistema (Claros et al. 2007).

O dado identificado pode incluir qualquer característica que o grupo medicinal necessita ou propõe. Nesse trabalho foi usado o tipo de sinal que o sensor coleta e o nome do paciente no qual o sensor esta conectado. O programa também resgata a imagem gráfica

¹¹ Um WSN (Wireless Sensor Network) consiste em um grande número de sensores integrados em rede Wireless, que se comunicam por ondas de rádio. Cada rede possui um elemento de controle para processar a informação recebida e distribuir as tarefas ao longo do sistema dependendo da aplicação.

correspondente ao sinal capturado pelo sensor conectado. A hora e a data que as amostras foram coletadas são gravadas e apresentadas ao usuário. As imagens gráficas são desenhadas com os dados de amostras mais recentes, coletadas pelo computador central. A aplicação de Realidade Aumentada pode mostrar o gráfico em tempo real, evitando assim atrasos na experiência visual do usuário. Uma observação relevante é que as redes desse sistema podem ser ligadas ao paciente ou localizadas ao seu redor, então informações biométricas e do ambiente podem ser monitoradas ao mesmo tempo.

Esse método visual de Realidade Aumentada permite uma maneira mais barata e fácil de acessar informações oferecidas por uma WSN. Outra vantagem é que diferentes marcadores podem ser associados a diferentes sensores ligados a uma rede e paciente, então o sinal pode ser processado independentemente.

O programa possui algumas restrições: o quarto deve ser apropriadamente iluminado para que a aplicação reconheça o marcador e, apenas o módulo de visualização está implementado, sendo assim, não é permitida a interação com os gráficos. Além disso, apenas um tipo de técnica de visualização, gráficos de linhas, pode ser gerado pela aplicação.

5.7.2. ARVino

O sistema ARVino (King, Piekarski and Thomas, 2005) foi desenvolvido pela Escola de Computação e Ciência da Informação da Universidade do Sul da Austrália. Este sistema combina duas tecnologias: Realidade Aumentada e GIS (Sistema de Informações Geográficas) que juntas providenciam uma nova maneira de visualizar os dados geográficos da vinicultura mostrados em computadores portáteis.

Os produtores de vinho usam o GIS para visualizar com precisão os parâmetros que afetam seus rendimentos e a qualidade das uvas das diferentes áreas de plantação. Dessa forma, o sistema ARVino, que se constitui em *hardware* de um laptop, uma sombrinha pequena e um tripé chamado plataforma de Realidade Aumentada, foi construído para visualização de dados em outdoors. A meta do desenvolvimento desse projeto foi fornecer aos produtores de vinho a capacidade de ver intuitivamente esses dados em um campo digital e assim terem a capacidade de melhorar sua produção e conseqüentemente seus rendimentos.

Usando um *software* de arquitetura chamado Tinmith AR (Piekarski and Thomas, 2002) os pesquisadores embarcaram em uma investigação para melhorar a visualização natural de sistemas GIS das áreas com plantações de uva para produção de vinho.

A plataforma ARVino superpõe o mundo físico com uma visualização do rendimento das colheitas normalizadas em diferentes campos de visão. A área de trabalho baseada em um

software GIS permite aos produtores de vinho a manipulação de seus dados para produzir visualizações mais significativas, mas esse processo ocorre em um estúdio interno.

A pesquisa descrita neste artigo mostrou que dados geográficos “GIS data”, essenciais para a vinicultura moderna, podem ser visualizados efetivamente em um sistema *outdoor* com Realidade Aumentada. A Figura 38 apresenta o ambiente do sistema ARVino.



Figura 38 – Ambiente do sistema ARVino (King, Piekarski and Thomas, 2005).

5.7.3. Visualização de Dados da Rigidez de Tecidos Humanos

Desenvolvido pela Universidade de Aizu do Japão, este sistema (Tsuchimoto and Nikishkov, 2006) permite visualizar dados sobre a rigidez de tecidos humanos. O sistema foi baseado na ARToolKit e por meio de marcadores os resultados da medida de rigidez são representados como objetos tridimensionais semitransparentes e projetados sobre o corpo do paciente.

O sistema consiste em sensores táteis, um HMD, uma câmera de vídeo, um *notebook* e dois marcadores. Dois marcadores quadrados de tamanhos conhecidos são utilizados para o rastreamento óptico. Cenas do vídeo são analisadas utilizando a ARToolKit para rastrear os marcadores e determinar suas transformações matriciais em tempo real.

Sobre a visualização o método de representação mais simples é desenhar o número que representa o valor da rigidez em seu espaço. Entretanto deve ser levado em conta que o objeto alvo não é plano, então se faz uso de medições espaciais para que a visualização possa ser projetada na superfície do objeto alvo. Para atingir uma boa qualidade nas medições é possível realizá-las de forma uniforme, se for necessário em base bidimensional, em locais bem distribuídos. Usando a interface gráfica o médico pode especificar uma área de medidas e distâncias entre pontos vizinhos e o sistema irá gerar e projetar no objeto alvo sugestões de locais para as medidas.

Além disso, é possível alternar para o modo guia, no qual triângulos são coloridos dependendo de sua área ou tamanhos. Quando um ponto próximo a um triângulo é medido, um novo triângulo colorido é formado para que reduza a possibilidade do médico rever um tumor e prestar maior atenção em áreas de elevada rigidez.

Diferentes técnicas de visualização são apropriadas para pequenos e grandes conjuntos de tecidos. Por isso, o uso da interface gráfica inclui diversas técnicas de visualização, como:

- Dados brutos: Resultados de medidas são mostrados como pontos e números, que representam locais de medições e valores de medidas;
- Círculos: centros de círculos representam locais de medições, áreas de círculos são proporcionais aos valores de rigidez. Diferentes cores são usadas para distinguir valores menores ou maiores;
- Barras: Resultados medidos são representados por barras de diferentes comprimentos, desenhadas perpendiculares ao objeto marcador. Barras maiores correspondem a maiores valores de resultado.
- Curvas de níveis: Resultados da medida de rigidez são apresentados na forma de curvas de níveis coloridas. Seus contornos representam valores constantes de rigidez. Essas curvas de níveis podem ser desenhadas diretamente na superfície do objeto ou na superfície da visualização, em cuja elevação é proporcional aos valores de rigidez.

Para todas as técnicas de visualização é possível ajustar a transparência dos objetos para evitar oclusão completa dos objetos reais. A Figura 39 apresenta o ambiente do sistema com dois modelos de técnicas de visualização.

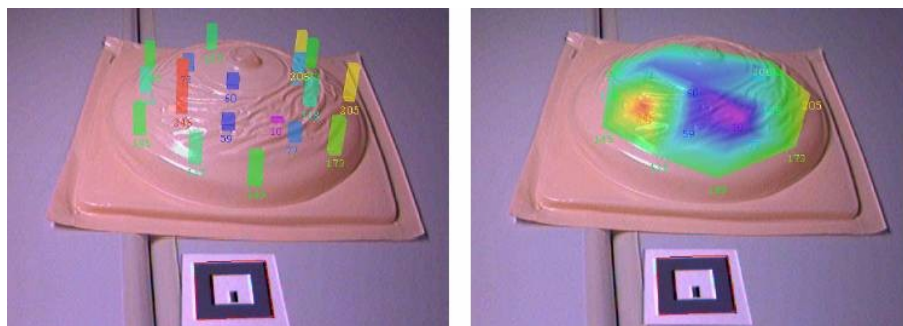


Figura 39 – Ambiente do sistema (Tsuchimoto and Nikishkov, 2006).

5.7.4. Visualização de Dados Geográficos com Realidade Aumentada

Hedley et al. (2002) apresentam um sistema para visualizar dados geográficos com Realidade Aumentada pelo Laboratório de Tecnologia de Interfaces Humanas da Universidade de Washington em conjunto com a Faculdade de Ciência da Informação da Universidade da Cidade de Hiroshima. Com um HMD, os usuários podem olhar para um

mapa plano sobre uma mesa e visualizar os terrenos virtuais tridimensionais sobrepostos no mapa. A partir desta interface os usuários podem usar as mãos, gestos ou marcadores para alterar os dados da representação. Esta manipulação deve ser baseada na interação de marcadores físicos e técnicas tangíveis. Para alcançar este objetivo o sistema utiliza uma combinação de três tecnologias diferentes: visão computacional; gestos naturais; e transição de interfaces.

Para calcular a posição e orientação da câmera em relação aos marcadores físicos foi utilizada a ARToolKit. As informações apresentadas foram modeladas usando VRML.

A Figura 40 apresenta a tela do sistema para visualização de dados geográficos.



Figura 40 – Ambiente do sistema (Hedley et al., 2002).

5.7.5. Sistema de Visualização dos Dados de seqüência das Rovers

O programa de visualização de dados de seqüência das rovers (Hartman et al., 2005) é um conjunto de ferramentas para comandar a exploração planetária, criado pelo Instituto de Tecnologia da Califórnia no Laboratório de propulsão a jato e usado na missão de exploração de Marte. O sistema apresenta dois componentes principais: Editor de seqüência da rover e o Hyperdrive. O primeiro é responsável por guardar uma cópia da seqüência dos movimentos executados pela rover e, caso seja solicitado, deverá enviar a cópia para os outros componentes que podem modificá-la, caso seja necessário. O Hyperdrive é um componente de visualização que une vários tipos de dados e formas de exibição tridimensional para gerar a representação visual de uma nova seqüência de eventos que será executada. O Hyperdrive também faz uma simulação para ser detectada qualquer espécie de erro que pode, por exemplo, danificar o veículo.

O primeiro passo, para o Hyperdrive funcionar, é receber a cópia da seqüência transmitida pelo editor que é apresentada numa linguagem chamada de Rover Markup Language. A partir daí ele precisa de vários dados que são fornecidos por diferentes fontes.

Para construir qualquer tipo de sequência de mobilidade, como mover o braço do veículo, existe um mínimo de dados que devem ser carregados no Hyperdrive para estabelecer o estado da rover.

Este programa permite de forma rápida, criar a sequência dos passos para a rover ir até um determinado local, o que torna necessário a escolha do melhor caminho, onde não há obstáculos, por exemplo. E, em seguida, executar a sequência de movimentos do braço de modo a não danificar o veículo para perfurar uma rocha, por exemplo. O sistema oferece um modo de visualização com Realidade Aumentada para mostrar os passos a serem executados pela rover (Figura 41).

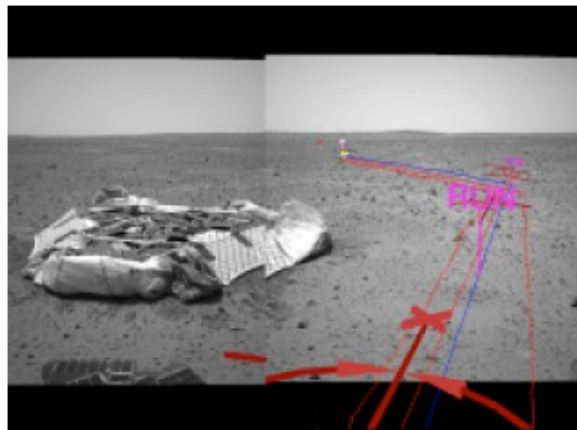


Figura 41 – Modo de visualização com Realidade Aumentada (Hartman et al., 2005).

5.7.6. Visualização de Dados Médicos com Realidade Aumentada

Foi desenvolvido pela Universidade de Pittsburgh (EUA) um sistema (Blackwell et al., 2000) que tem a finalidade de adicionar imagens, geradas por dados médicos, sobre o ambiente real do usuário. Utilizando esse recurso com imagens médicas tridimensionais, o cirurgião pode visualizar os dados sobre a anatomia do paciente, o que aumenta potencialmente a precisão para executar um procedimento cirúrgico, principalmente os mais complexos.

Basicamente esse sistema é constituído da seguinte forma: Visualização gráfica, exibição semitransparente, posição (no caso, relacionada com o corpo do paciente) onde o sistema irá sobrepor as imagens e, um *software* para fazer a correlação das posições e transformar imagens. No caso da exibição, utiliza-se um painel de LCD e projetores. O objetivo é que a exibição semitransparente auxilie tanto na visualização dos dados, quanto na anatomia. Com relação à posição, as exigências primárias são duas: o sistema deve ser pelo

menos tão preciso quanto o de espaço de resolução do sistema de exibição e tão rápido quanto o tempo de atualização de imagem.

Dentre as várias aplicações para o sistema, pode-se citar o auxílio a procedimentos cirúrgicos de difícil execução, sobretudo no que se referem às regiões mais internas do corpo humano. Além disso, pode ser utilizado como simuladores na educação cirúrgica, pois virtualmente qualquer procedimento cirúrgico pode ser realizado com o mesmo. A Figura 42 apresenta uma simulação cirúrgica utilizando o sistema descrito.

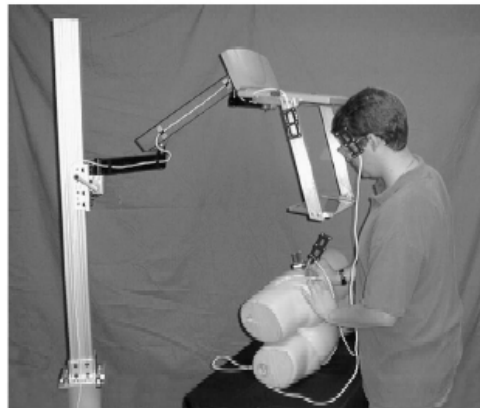


Figura 42 – Visualização de dados médicos com Realidade Aumentada (Blackwell et al., 2000).

5.7.7. Visualização dos Dados de Aviação com Realidade Aumentada

Muitos acidentes aéreos causados anualmente ocorrem devido a perigosos e invisíveis fluxos de ar. Recentemente, um sistema (Aragon and Hearst, 2005) foi desenvolvido por uma parceria entre a Universidade da Califórnia-Berkeley com a NASA. O sistema oferece um sensor tecnológico que consegue juntar uma grande quantidade de fluxo de ar e medir a velocidade dos mesmos em tempo real. Esta tarefa atrelada a outras informações visuais são estudadas e fornecidas ao piloto.

Embora esse tipo de fluxo de ar seja um risco para todos os tipos de aeronave, a pesquisa focou-se em helicópteros que pousam em navios em movimento, pois um helicóptero em operação sempre provoca um distúrbio no ar ao seu redor, o que permite ao mesmo permanecer em movimento. Além disso, em alto mar o piloto tem que lidar com os fluxos de ar do oceano e a baixa visibilidade, o que dificulta a identificação do navio em que ele deve realizar o pouso.

Esse sistema de visualização consiste em imagens de duas ou três dimensões desenvolvida por engenheiros e cientistas que estudam a instabilidade dos fluxos de ar. O sistema contém um módulo de visualização com Realidade Aumentada, conforme apresentado na Figura 43.

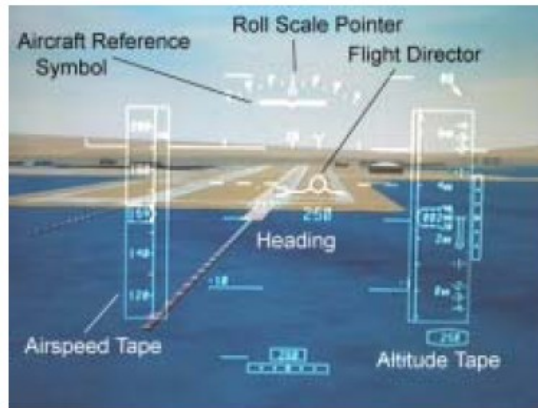


Figura 43 – Módulo de visualização com Realidade Aumentada (Aragon and Hearst, 2005).

A visualização foi baseada em um protótipo que usou como ferramenta o Rhino 3D. Este simulou todas as condições físicas dentro de uma cabine por meio de animação de vídeo. Além disso, foi usado um indicador de perigo baseado em duas colorações: o vermelho (perigo) e o amarelo (cuidado), o que deixava o piloto mais atento aos imprevistos. Tal protótipo foi testado e aprovado por engenheiros aeronáuticos e pilotos experientes.

O teste foi desenvolvido na *Advanced Rotocraft Techboloy (ART)* em *Mountain View* na Califórnia, que é uma companhia especializada na técnica de simulação de vôos e o mesmo consiste num assento isolado rodeado por painéis de controles aéreos e três canais de projeção visual em 3D.

Durante a simulação havia três níveis de dificuldade e os pilotos voavam sob 28 condições diferentes de pouso sobre o navio. Havia também diferentes cenários que estavam relacionados com a periculosidade das diferentes correntes do vento.

Além disso, os testes levantaram quatro hipóteses sobre o efeito do simulador: se a causa das batidas podia ser reduzida com a presença do indicador de perigo, se o indicador de risco não atrapalhava o trabalho do piloto e se os pilotos gostariam de usufruir desse equipamento. Todas as hipóteses foram confirmadas e os testes apresentaram significativa melhoria na segurança do pouso dos pilotos, pois estes passaram a analisar junto ao computador as características de cada fluxo de ar.

5.7.8. Dinâmica dos Fluidos com Realidade Aumentada

Foi desenvolvido pela Universidade da Pensilvânia um sistema (Malkawi and Srinivasan, 2005) com Realidade Aumentada para visualizar resultados da simulação de Dinâmica dos Fluidos Computacional (CFD) em espaço e tempo real (Figura 43) usando mecanismos de reconhecimento de fala e gestos.

O modelo consiste em quatro componentes: um sensor de dados que encontra a temperatura real e a variação da velocidade dentro do cômodo e atualiza as condições limite para simulação; um componente de análise de CFD que realiza uma simulação com as novas condições limite e armazena a informação pós-processada; e o componente de Interação Homem-Máquina que consiste em uma biblioteca de tarefas reconhecidas pela fala e por gestos. Essas tarefas auxiliam na manipulação da informação para o componente de visualização de Realidade Aumentada, que rastreia o movimento real do usuário e apresenta a informação gráfica no HMD para que os usuários visualizem os dados da CFD situada na cena real.

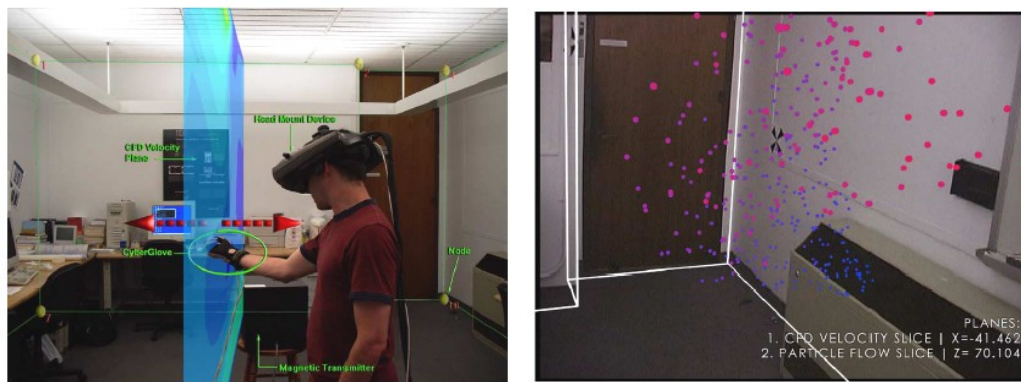


Figura 44 – Visualização dos Fluidos com Realidade Aumentada (Malkawi and Srinivasan, 2005).

A Interação Homem-Máquina pode ser utilizada para visualizar e manipular dados do comportamento térmico interno em tempo e espaço real. Para isso há pesquisas na área de sensores e controladores com finalidade de notar os ambientes, simular a construção para prever seu comportamento, visualização científica de dados com o objetivo de entender a imensa representação numérica usando um Ambiente Virtual e o sistema para projetar, avaliar e implementar aplicações computacionais interativas.

Para criar o ambiente interativo para visualizar os dados da CFD em tempo real é necessário o uso de *software* e *hardware* de amplo alcance. O *software* de interação e visualização foi desenvolvido usando as linguagens C++ e Java3D. A rede e as simulações da CFD foram executadas com Gambit 2.0.6 e Fluent 6.02, respectivamente, além de módulos para automatização do processo de atualização das condições limite baseados em sensores de saída, rede e invocação de simulações. A máquina da IBM *ViaVoice speech* foi utilizada para o reconhecimento da fala. O *hardware* utilizado possui um tubo de raio de cátodo (*Cathode-Ray Tube CRT*) personalizado baseado no HMD, uma luva de dados (*CyberGlove*), rastreadores magnéticos e um computador com alto poder de processamento. Além disso,

algoritmos de prognósticos e sem ondas foram usados para habilitar o rastreamento magnético de movimentos, assim como para eliminar os efeitos negativos causados pelos metais no ambiente de Realidade Aumentada.

5.7.9. AR Trace Route

Desenvolvido pela Universidade Federal de Uberlândia, o sistema AR TraceRoute (Zorzal et al., 2007) que utiliza como base de seu funcionamento o comando “tracert”, interpreta os dados informados e inseri-os em uma interface de Realidade Aumentada.

A primeira tarefa do sistema é capturar os dados informados pelo comando “tracert” em um arquivo, de forma a possibilitar a sua posterior interpretação. Esta tarefa foi possível por meio de um direcionamento da saída do comando para um arquivo ao invés da visualização convencional no *prompt*.

Após capturar os dados da rede com o comando “tracert” e colocá-los em um arquivo, a próxima tarefa é desenvolver um programa para interpretar os dados advindos do “tracert”, tratando erros e descartando informações não utilizadas pelo sistema. Essas informações foram isoladas em variáveis e classes para serem reutilizadas no módulo responsável pela visualização em Realidade Aumentada do sistema.

Com os dados necessários ao funcionamento do sistema, a próxima fase consistiu em desenvolver um programa para gerar um ambiente virtual baseado nesses dados. Para suportar de forma fácil esse desenvolvimento foi escolhida a linguagem VRML, que utiliza código interpretado para gerar ambientes virtuais. De forma a representar o caminho do pacote desde o computador de origem, de onde é executado o programa, até o computador destinatário, foi construído uma espécie de túnel virtual, formado por roteadores interconectados. Os roteadores que constituem o tunelamento possuem as informações referentes aos saltos do pacote.

Para que o sistema suportasse a interface de Realidade Aumentada, foi necessário escolher um *software* que permitisse fácil customização às necessidades do sistema. Dentre várias possibilidades, foi escolhido o ARToolKit, que é um conjunto de ferramentas e bibliotecas para Realidade Aumentada em código aberto, permitindo alterações nos exemplos e desenvolvimento de novas funções. Além disso, ele oferece suporte a arquivos gerados em VRML, possibilitando a fácil integração com o módulo que gera os ambientes virtuais. A Figura 45 apresenta a interface de operação do sistema AR TraceRoute.

A primeira tarefa do usuário é inserir um endereço a ser consultado e clicar no botão TraceRoute. Após isso, é necessário aguardar alguns instantes, enquanto a rota entre o computador local e o endereço inserido é calculada.

Quando o sistema termina de calcular a rota é mostrado um ambiente virtual animado, contendo os nós da rede e a animação de um pacote trafegando entre os diversos nós. A simulação do pacote trafegando entre os hosts é gerada, a partir de dados reais dos RTTs (*Round Trip Time*), tempo que um pacote leva para ir para o host destinatário e voltar para o host de origem, interpretados e obtidos pelo sistema.

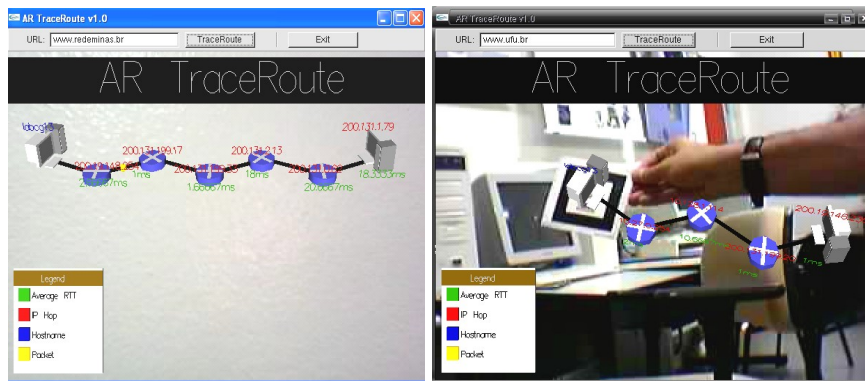


Figura 45 - Ambiente da ferramenta AR TraceRoute (Zorzal et al., 2007).

Quando o AR TraceRoute detecta algum erro, ao encontrar a rota, ou seja, quando o destino especificado não existir ou quando ele estiver inacessível, o programa apresenta um “X” virtual em vermelho na saída do host de destino, especificando que para aquele determinado destino não existe uma rota.

Para interagir com esse ambiente virtual existem dois marcadores. O primeiro serve para deslizar o ambiente todo para a esquerda ou direita, em casos onde existam muitos nós e não seja possível visualizar toda a rota com facilidade. O segundo marcador permite ao usuário “pegar” o ambiente com as mãos e inspecioná-lo livremente.

5.7.10. MVC-RA

Foi desenvolvida pela Universidade Federal do Pará, uma aplicação para visualizar dados multidimensionais com Realidade Aumentada (Meiguins, 2006). O sistema foi construído utilizando a biblioteca ARToolKit como suporte, nesta aplicação o usuário pode interagir de forma natural e direta com a representação, manipulando filtros e objetos tridimensionais. Cada objeto visualizado possui características específicas de cor, forma e tamanho, que representam diretamente valores dos atributos da base.

Por meio de obstrução dos marcadores é possível acessar qualquer função do sistema. Esta ação consiste em interromper, por algum instante, o processo de captura da câmera sobre o marcador. Algumas destas funções consistem na utilização de filtros e transformações geométricas.

Os filtros implementados foram idealizados nos conceitos de consultas dinâmicas e contemplam tanto valores discretos, quanto contínuos. Os atributos discretos normalmente estão mapeados para características configuráveis de cor, forma e tamanho. Já os atributos contínuos podem ser representados nos eixos do gráfico. É possível também interagir com o sistema por meio de mecanismos de *zoom*, rotação e translação. A Figura 46 apresenta a arquitetura do sistema MVC-RA.

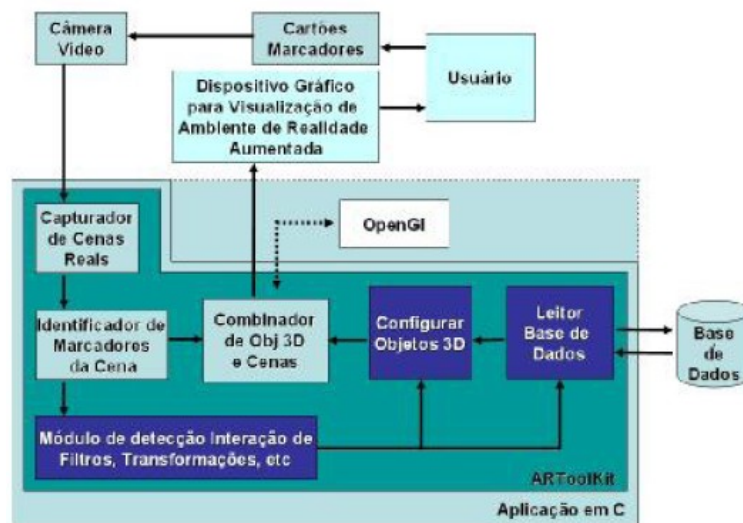


Figura 46 - Arquitetura do Sistema (Meiguins, 2006).

Destacam-se o módulo de detecção de interação, é onde o protótipo identifica a ação que o usuário quer realizar; o módulo configurar objetos 3D, que recebe informações sobre a ação do usuário e modifica os objetos 3D que serão apresentados ao usuário; e o módulo leitor de base de dados, que é responsável por carregar os dados para a memória para a manipulação dados pelo protótipo.

Além das representações tridimensionais apresentadas pelo sistema é possível visualizar gráficos 2D, que tem como objetivo auxiliar o usuário com novas informações sobre os dados que estão sendo visualizados. Existem dois tipos de gráficos bidimensionais, em formato pizza e no modelo de histograma. A Figura 47 elucida o ambiente da aplicação.

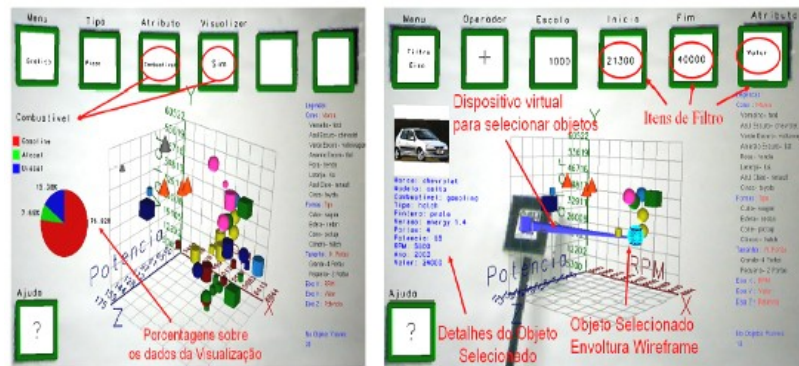


Figura 47 - Interface do Sistema (Meiguins, 2006).

5.7.11. DataVis-AR

Desenvolvido pela Universidade Metodista de Piracicaba, o DataVis-AR (*Data Visualization Virtual Environment Using Augmented Reality*) (Kirner and Kirner 2006) é um sistema interativo de visualização de dados com Realidade Aumentada, que utiliza como ferramenta de apoio a biblioteca ARToolKit. O DataVis-AR permite a análise de diferentes tipos de dados por meio de representações gráficas. A Figura 48 apresenta o ambiente desta aplicação.

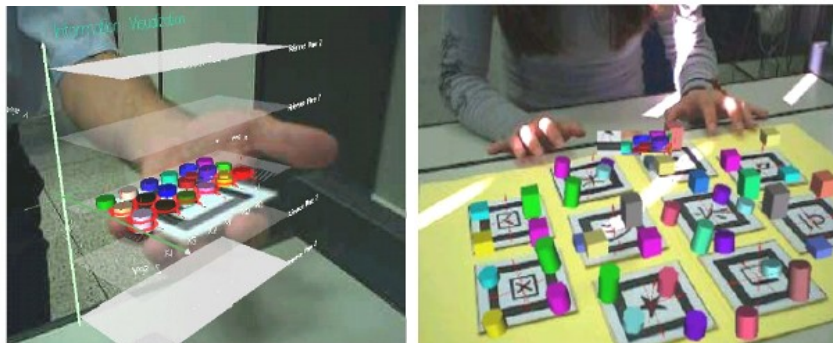


Figura 48 - Interface do DataVis-AR (Kirner and Kirner, 2006).

O *software* pode ser configurado, de acordo com a necessidade do usuário, além de possuir um módulo de controle que permite a manipulação de dados no mundo real. Para isto, basta apenas posicionar um marcador pré-cadastrado no campo de visão da câmera e visualizar as informações virtuais no ambiente.

O DataVis-AR é estruturado pelos módulos de Configuração, Banco de Dados, Controle e Rendering. Estes módulos são interligados em um sistema de aquisição e tarefas de um domínio específico, seus resultados são enviados para um display de Realidade Aumentada (Figura 49).

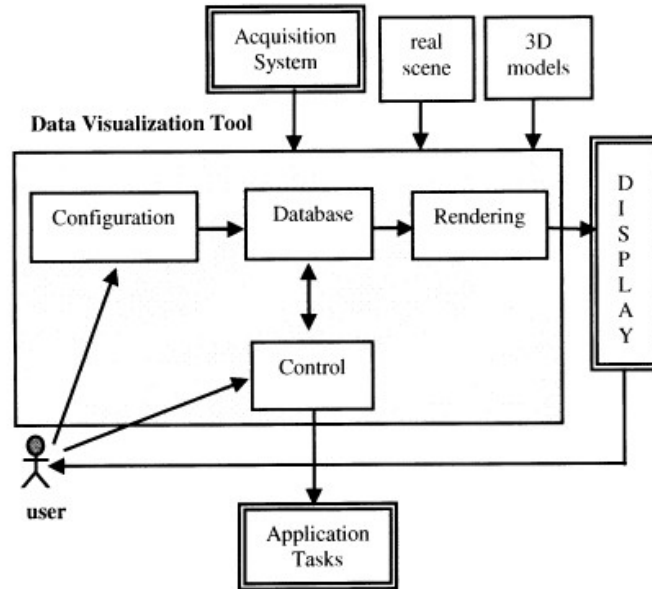


Figura 49 – Arquitetura do DataVis-AR (Kirner and Kirner, 2006).

5.7.12. *Meta3D++*

Desenvolvido pela Universidade Federal de Pernambuco, o Meta3D++ (Bueno, 2005) é uma ferramenta de visualização de dados multidimensionais em ambiente de Realidade Aumentada.

A ferramenta foi idealizada para que o usuário utilize em conjunto técnicas estatísticas e de Visualização de Informação, de uma forma integrada, agilizando o processo de criação de uma visualização mais efetiva. Um recurso disponível na Meta3D++ é a categorização de variáveis, isto é, o usuário pode mapear as classes de uma tabela de distribuição de frequências em categorias.

Por meio de uma interface gráfica, o usuário poderá configurar quais dados e variáveis devem ser apresentadas na visualização, quais são os parâmetros críticos que merecem destaque e finalmente, qual o tipo de visualização desejada para que a ferramenta crie o arquivo VRML que será utilizado pelo navegador com o plug-in adequado ou pelo sistema de Realidade Aumentada.

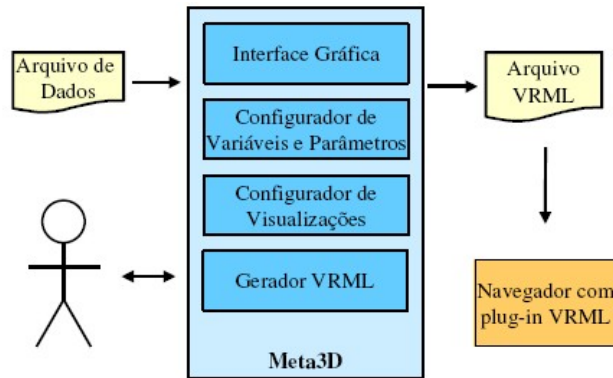


Figura 50 - Arquitetura do Meta3D++ (Bueno, 2005).

O sistema Meta3D++ permite a criação de visualizações 3D, por meio de técnicas de faces de *Chernoff*, coordenadas paralelas e coordenadas paralelas extrusivas. O usuário pode construir as visualizações no sistema e exportá-las para o formato VRML, possibilitando uma fácil visualização e distribuição (Figura 51).

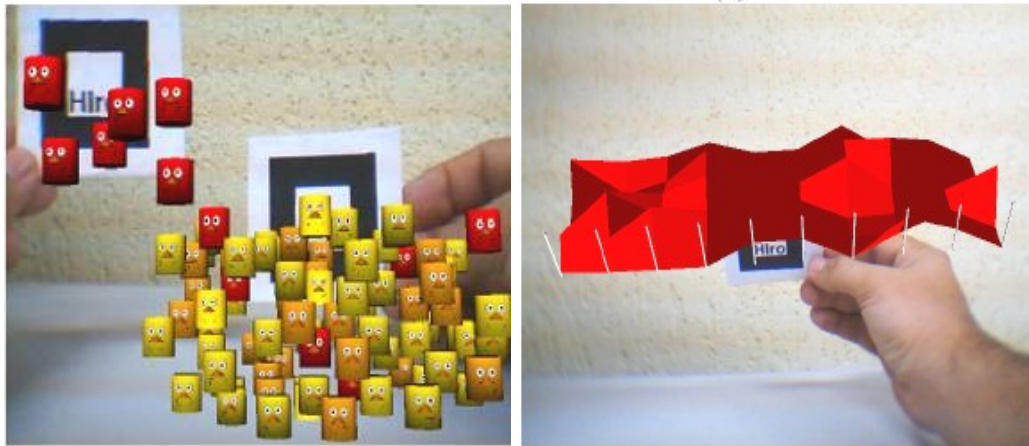


Figura 51 - Interface do Meta3D++ (Bueno, 2005).

5.8. Análise das aplicações correlatas

Foi realizada uma análise das aplicações correlatas para identificar suas respectivas características e funcionalidades.

A Tabela 4 mostra as características das ferramentas para o desenvolvimento de aplicações de Realidade Aumentada. Percebe-se que a maior parte das ferramentas existentes são interfaces de programação e seu principal objetivo é oferecer suporte ao desenvolvimento de novas aplicações de Realidade Aumentada. A partir dessas ferramentas é possível construir diversas aplicações com Realidade Aumentada para diferentes finalidades. Nota-se ainda que, tais ferramentas apresentam praticamente a mesma estratégia para concepção de novas aplicações com Realidade Aumentada.

A Tabela 5 apresenta as características de aplicações adaptativas. Verifica-se que a maioria das aplicações pesquisadas atua na Web e tem como objetivo auxiliar o usuário no ambiente em que está realizando suas tarefas, isto garante que o mesmo as faça de forma mais efetiva. Constata-se também que grande parte destas aplicações obtém o perfil do usuário através de um cadastramento inicial e também através das interações dos usuários com a aplicação.

Para esse trabalho pesquisou-se apenas aplicações de visualização que representam a informação em ambientes tridimensionais. As características destas aplicações são apresentadas na Tabela 6. Nota-se que a maioria dessas aplicações utiliza técnicas de projeções 2D/3D convencionais e utilizam algum tipo de metáfora para representar suas informações.

A Tabela 7 apresenta as características da aplicação adaptativa com Realidade Aumentada. Nota-se que a aplicação analisada foi desenvolvida com objetivos de integrar técnicas de Hipermídia Adaptativa com Realidade Aumentada para ajudar o usuário a organizar o ambiente de trabalho de acordo com suas preferências. Para isso foi utilizado diferentes técnicas de interação (espacial e por controle virtual) com auxílio de marcadores, o que potencializa o sistema e o torna mais acessível ao usuário.

A Tabela 8 mostra as funcionalidades e características da aplicação adaptativa com Visualização de Informação. Constata-se que a aplicação analisada trata-se de um framework para adaptar as visualizações em dispositivos dos usuários. Tal aplicação apresenta técnicas de apresentação para resolver o problema da adaptação e técnicas de projeções 2D/3D convencionais para apresentar as informações ao usuário. As representações dispostas aos dispositivos do usuário são apresentadas no formato VRML.

As funcionalidade e características das aplicações de Visualização de Informação com Realidade Aumentada são apresentadas na Tabela 9. Percebe-se que a Realidade Aumentada é usada nestas aplicações de forma a potencializá-las dando-as suporte a um módulo diferente de visualização e interação. Diferentes técnicas de visualização são utilizadas nestas aplicações porém o uso de metáforas e as técnicas de projeções geométricas são empregadas de forma mais freqüente.

Reitera-se ainda que, por ser um precursor, ter o código aberto, possuir uma vasta documentação e grandes números de pesquisadores envolvidos, a ARToolKit é a ferramenta mais utilizada no desenvolvimento dessas aplicações.

Tabela 4 – Funcionalidades/Características das ferramentas para Realidade Aumentada.

Ferramenta	Funcionalidades/Características			
	<i>Tipo</i>	<i>Plataformas de suporte</i>	<i>Objetivo da pesquisa</i>	<i>Linguagem de programação</i>
(Fiala, 2005)	API (<i>Application Programming Interface</i>)	MS Windows, MacOS, Irix, Linux e MS PocketPC.	Resolver alguns problemas encontrados na ARToolKit no processo de detecção de marcadores.	C++ e C#.
(Kato, 2000)	API	MS Windows, Maços, Irix, Linux e MS PocketPC.	Para resolver recorrentes problemas de rastreamento em sistemas de Realidade Aumentada baseados em vídeo e visão direta e permitir que as pessoas desenvolvam suas próprias aplicações de Realidade Aumentada.	C, Java e Matlab.
(Loosea et al., 2008)	API	MS Windows, MacOSX e Linux.	Combina as funções de detecção e rastreamento de marcadores da ARToolKit com as funções para construção de modelos virtuais da biblioteca OpenSceneGraph.	C++.
(MacIntyre et al. 2004)	GUI (<i>Graphics User Interface</i>)	Plataformas com suporte ao Adobe Director.	Desenvolver um conjunto de ferramentas que provêem um desenvolvimento rápido com Realidade Aumentada.	LINGO, C++.
(Wagner , 2008)	API	MS Windows, Maços, Irix, Linux, MS PocketPC, PDAs e smartphones.	Aperfeiçoar a biblioteca ARToolKit com intuito de gerar aplicações para dispositivos móveis	C++.

Tabela 5 – Funcionalidades/Características das aplicações adaptativas.

Aplicação	Funcionalidades/Características			
	Perfil do Usuário	Técnicas de Adaptação	Objetivo da pesquisa	Implementação
(De Bra et al., 2001)	Obtido através do cadastramento inicial e da interação do usuário com o sistema.	Técnicas de Apresentação e navegação.	Criar uma ferramenta de propósito geral para acrescentar adaptação a um site na Web.	Java e HTML.
(Macías et al., 2003)	Obtido através da interação do usuário com o sistema.	Técnicas de Navegação.	Criar modelos de cursos prontos para serem processados pelo TANGOW.	Java e HTML.
(NetCoach, 2005)	Obtido através do cadastramento inicial e da interação do usuário com o sistema.	Técnicas de Apresentação e navegação.	Possibilitar o desenvolvimento de cursos adaptativos baseados na Web.	LISP-server.
(Oliveira et al., 2003)	Obtido através do cadastramento inicial e da interação do usuário com o sistema.	Técnicas de Apresentação e navegação.	Auxiliar professores na autoria de material educacional na Web.	PHP, HTML e XML.
(Trella et al., 2005)	Obtido através do cadastramento inicial e da interação do usuário com o sistema.	Técnicas de Apresentação e navegação.	Prover aos professores uma ferramenta para desenvolver ambientes educacionais inteligentes baseados na Web e fornecer aos alunos um ambiente educacional no qual eles tenham um tutor encarregado de auxiliá-los no processo de aprendizagem	Java e HTML.
(Zanchett and Dalfovo, 2004)	Obtido através da interação do usuário com o sistema.	Técnicas de Navegação.	Criar um espaço interativo através da Internet na área de Educação para a aprendizagem continuada de adultos da Maior Idade nos cursos de Informática.	PHP.
(Chittaro and Ranon, 2002)	Obtido através do cadastramento inicial e da interação do usuário com o sistema.	Técnicas de Apresentação e Navegação.	Desenvolver sites tridimensionais com técnicas de adaptação para auxiliar os usuários quanto a navegação e a obtenção de informações no ambiente.	VRML e Java.

Tabela 6 – Funcionalidades/Características das aplicações de Visualização de Informação.

Aplicação	Funcionalidades/Características			
	<i>Técnicas de Visualização</i>	<i>Técnicas de Interação</i>	<i>Objetivo da pesquisa</i>	<i>Implementação</i>
(Martins, 2000)	Projeções 2D/3D convencionais e uso de metáforas	Navegação e manipulação 3D.	Visualizar informações, em um ambiente virtual, do Museu de Cerqueira César situado na cidade de São Carlos.	VRML.
(Souza Júnior, 2006)	Projeções 2D/3D convencionais.	Navegação e manipulação 2D/3D.	Criar um ambiente em que os usuários possam compartilhar a visualização e trocar informações pela Web.	Java.
(Systems, 2004)	Projeções 2D/3D convencionais.	Navegação e manipulação 2D/3D.	Visualizar informações em ambientes tridimensionais.	VRML.

Tabela 7 – Funcionalidades/Características da aplicação adaptativa com Realidade Aumentada.

Aplicação	Funcionalidades/Características				
	<i>Perfil do Usuário</i>	<i>Técnicas de Adaptação</i>	<i>Técnicas de Interação</i>	<i>Objetivo da pesquisa</i>	<i>Implementação</i>
(Sinclair et al., 2003)	Não consta.	Técnicas de Apresentação.	Interação espacial (marcadores) e por controle virtual.	Integrar técnicas de Hipermídia Adaptativa à Realidade Aumentada.	ARToolKit, C/C++, VRML e OpenGL.

Tabela 8 – Funcionalidades/Características da aplicação adaptativa com Visualização de Informação.

Aplicação	Funcionalidades/Características					
	<i>Perfil do Usuário</i>	<i>Técnicas de Adaptação</i>	<i>Técnicas de Visualização</i>	<i>Técnicas de Interação</i>	<i>Objetivo da pesquisa</i>	<i>Implementação</i>
(Ehret et al., 2004)	Não consta.	Técnicas de Apresentação.	Projeções 2D/3D convencionais.	Navegação e manipulação 2D/3D.	Desenvolver um framework para adaptar a visualização a diferentes plataformas móveis.	SQL, JSP, HTML e VRML.

Tabela 9 – Funcionalidades/Características das aplicações de Visualização de Informação com Realidade Aumentada.

Aplicação	Funcionalidades/Características			
	Técnicas de Visualização	Técnicas de Interação	Objetivo da pesquisa	Implementação
(Aragon and Hearst, 2005)	Projeções geométricas e uso de metáforas.	Limitada à projeção.	Simular condições físicas em simuladores de voo.	ART e OpenGL.
(Blackwell et al., 2000)	Projeções geométricas e uso de metáforas.	Interação por controle físico.	Visualizar os dados médicos sobre a anatomia do paciente.	OptoTrak e OpenGL.
(Bueno, 2005)	Baseadas em ícones e projeções geométricas.	Interação espacial (marcadores).	Visualizar dados multidimensionais em ambiente de Realidade Aumentada.	ARToolKit, C/C++ e VRML.
(Claros et al. 2007)	Projeções 2D/3D convencionais.	Interação espacial (marcadores).	Usar Realidade Aumentada para visualizar informações procedidas de sensores ligados aos pacientes em um centro de tratamento.	ARToolKit, C/C++ e OpenGL.
(Hartman et al., 2005)	Projeções geométricas.	Limitado à projeção.	Usar Realidade Aumentada para visualizar as seqüências de passos a serem executados, por uma máquina (Rover), na exploração planetária	RML, CAD e XML.
(Hedley et al., 2002)	Projeções geométricas.	Interação espacial (marcadores) e baseada em comandos.	Visualizar dados geográficos e terrenos virtuais sobrepostos no mapa real.	ARToolKit, C/C++ e VRML.
(King, Piekarski and Thomas, 2005)	Projeções geométricas, orientadas a pixels e uso de metáforas.	Limitada à projeção.	Visualizar em sistemas outdoor de Realidade Aumentada os parâmetros que afetam os rendimentos e a qualidade das uvas em diferentes áreas de plantação.	Tinmith AR, GIS, C++ e VRML.
(Kirner and Kirner, 2006)	Projeções 2D/3D convencionais e uso de metáforas.	Interação espacial (marcadores).	Visualizar de dados com Realidade Aumentada.	ARToolKit, C/C++ e VRML.
(Malkawi and Srinivasan, 2005)	Projeções geométricas, orientadas a pixels e uso de metáforas.	Interação baseada em comandos;	Visualizar resultados da simulação de Dinâmica dos Fluidos Computacional em espaço e tempo real usando mecanismos de reconhecimento de fala e gestos.	IBM ViaVoice speech, C++ e Java 3D.
(Meiguins, 2006)	Projeções 2D/3D convencionais.	Interação espacial (marcadores) e por controle virtual.	Visualizar dados multidimensionais com Realidade Aumentada.	ARToolKit, C/C++, VRML e OpenGL.
(Tsuchimoto and Nikishkov, 2006)	Projeções 2D/3D convencionais, projeções geométricas e orientadas a pixels.	Interação espacial (marcadores).	Projetar sobre o corpo do paciente, em forma de gráficos, os resultados da medida de rigidez de tecidos humanos.	ARToolKit, C++ e OpenGL.
(Zorzal et al., 2007)	Uso de metáforas.	Interação espacial (marcadores) e por controle físico.	Visualizar informações sobre redes de computadores com Realidade Aumentada.	ARToolKit, C/C++ e VRML.

5.9. Considerações finais

Este capítulo apresentou uma visão geral do estado da arte das áreas correlatas à pesquisa. Foram apresentadas algumas das ferramentas de auxílio no desenvolvimento de aplicações com Realidade Aumentada, aplicações de Sistemas Adaptativos e Visualização de Informação.

Em continuidade, o capítulo mostrou uma compilação de aplicações que associam técnicas de Sistemas Adaptativos com Realidade Aumentada, Visualização de Informação com Sistemas Adaptativos e técnicas de Visualização de Informação com Realidade Aumentada.

Por fim, este capítulo apresentou uma análise das aplicações correlatas desta pesquisa apresentando suas funcionalidades e características. Nota-se que, até o momento, não foram encontrados trabalhos publicados que envolvem as três áreas do conhecimento discutidas nesta pesquisa. No entanto, é imprescindível ressaltar que todos os trabalhos estudados nesta pesquisa são projetos de qualidade, e o fato deles não pesquisarem a interseção das três áreas não diminui de forma alguma os seus valores para a comunidade científica. Os projetos analisados focalizaram em estudos que serviram de base e motivação para o presente trabalho. Entende-se ainda que um trabalho de qualidade, independentemente do seu foco, contribui para o avanço da ciência, e o fato de pesquisas tomarem rumos diferentes com certeza aumenta o campo de conhecimento alcançado e a velocidade do crescimento científico.

Estratégia e Arquitetura para Aplicações do Contexto

Este capítulo apresenta uma proposta de estratégia, que visa auxiliar e planificar as atividades necessárias para desenvolver aplicações adaptativas de Visualização de Informação com Realidade Aumentada e um modelo de arquitetura com a finalidade de integrar tais aplicações.

Inicialmente, o capítulo disserta sobre a estratégia proposta para o desenvolvimento das aplicações do contexto. Por fim, apresenta-se o modelo da arquitetura elaborada e a discussão de cada componente deste modelo.

6.1. Estratégia para o desenvolvimento

A partir do estudo realizado, obtém-se a contribuição particular de cada trabalho para os objetivos desta pesquisa. Porém, observa-se que individualmente nenhuma estratégia, utilizada para a implementação destes trabalhos, contempla na íntegra o propósito de desenvolver aplicações adaptativas de Visualização de Informações com Realidade Aumentada, apresentando etapas seqüenciais que atinjam esse objetivo. Sendo assim, propõe-se neste trabalho a elaboração de uma estratégia para desenvolver tais aplicações, organizada em passos ou etapas seqüenciais de forma que o processo de desenvolvimento ocorra de maneira eficaz.

O conjunto de etapas que compõe a estratégia está dividido em três grandes fases: a definição da estrutura de domínio, a definição da estrutura de interface e a definição da estrutura de adaptação. A Figura 52 apresenta todas as etapas que compõe a estratégia e que foram inseridas no modelo final.

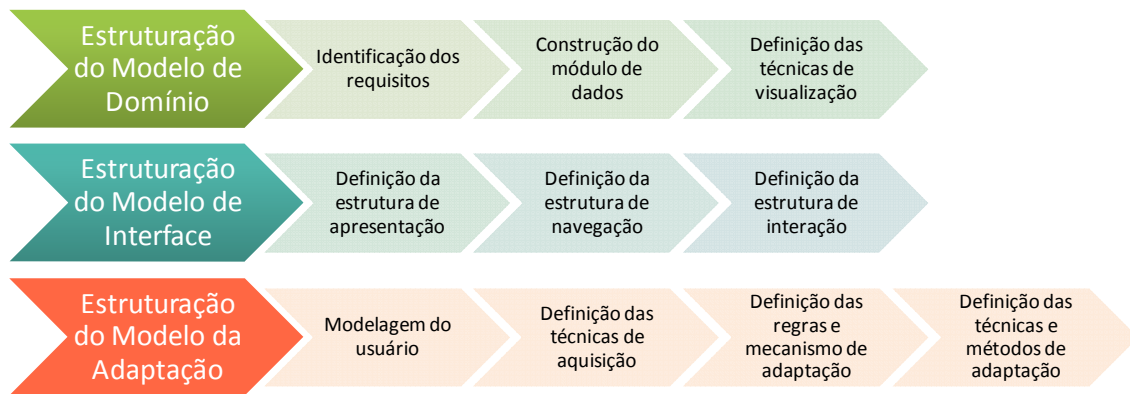


Figura 52 – Etapas da estratégia.

6.1.1. Estruturação do modelo de domínio

O modelo do domínio representa a compreensão e informação adquirida acerca do domínio. Este modelo descreve a visão do autor do sistema sobre o domínio da aplicação e define os aspectos da aplicação que podem ser adaptados a novas situações ou necessários para a operação do sistema. Os conteúdos relacionados ao que vai ser utilizado são representados neste modelo.

A identificação dos requisitos do sistema, a construção do módulo de dados e a definição de quais técnicas de visualização devem ser utilizadas na aplicação, são fases importantes desta etapa e serão discutidas adiante.

6.1.1.1. Identificação dos requisitos

A identificação e análise de requisitos estão presentes em todo processo de desenvolvimento de *software*. Nesta fase são identificadas e definidas todas as funcionalidades que o sistema deverá contemplar. As entrevistas estruturadas com os possíveis usuários do sistema são um método utilizado para esta fase e que poderão ter uma função importante na ajuda à identificação de todas as funcionalidades pretendidas no sistema. É geralmente nesta fase que ocorre a maior parte dos erros, pois a falta de experiência dos usuários faz com que eles nem sempre tenham em mente quais funcionalidades o sistema deverá apresentar.

Após a obtenção dos requisitos é necessário estudar as características que o sistema deverá ter para atender às necessidades e expectativas dos usuários. Cada funcionalidade demandada pelo usuário deve ser analisada para verificar os possíveis impactos no desenvolvimento das demais funcionalidades do sistema.

6.1.1.2. Construção do módulo de dados

O gerenciamento de informações implica na definição das estruturas de armazenamento dos dados e na definição dos mecanismos para sua manipulação. Os dados coletados de cada usuário precisam ser retidos em uma base de dados, de modo que possam ser recuperados em futuros acessos do usuário ou serem atualizados durante a adaptação do sistema. Os dados coletados durante o processo inicial de cadastramento do usuário são independentes do domínio da aplicação e servem para levantar suas preferências iniciais, verificar se este usuário já existe cadastrado no sistema e, caso exista, auxiliá-lo na recuperação de seus dados de acesso ao mesmo.

Os dados dependentes do domínio, e que foram coletados durante a utilização do sistema são usados para estabelecer um modelo de sobreposição do conteúdo do sistema. Os dados definidos devem fazer parte da base de dados do Modelo do Usuário, sendo que seus valores são atualizados à medida que o usuário utiliza o conteúdo.

6.1.1.3. Definição das técnicas de visualização

Uma das principais considerações a ser feita no processo de visualização é a determinação de qual técnica deve ser empregada em uma determinada aplicação ou situação. Esta escolha é certamente dependente do tipo de informação que está sendo tratada e das tarefas que precisam ser realizadas pelo usuário.

Em geral, características e valores diversos são exibidos em gráficos dos mais variados tipos, desde os tradicionais gráficos de pontos ou linhas a conjuntos de ícones, dispostos de acordo com o ambiente do domínio.

Para se criar um gráfico é preciso primeiro conhecer o tipo de informação que se deseja transmitir, pois um gráfico poderá informar visualmente as tendências de uma série de valores em relação a um determinado espaço de tempo, a comparação de duas ou mais situações e muitas outras situações.

Cada tipo de gráfico é adequado para uma diferente situação a ser analisada. Se um gráfico for definido de forma incorreta, poderá ocorrer a análise errada de uma situação, causando uma série de interpretações distorcidas do assunto em questão, tornando desta forma a representação gráfica sem qualquer efeito aproveitável. Diferentes técnicas de visualização foram apresentadas na Seção 3.4 deste documento.

6.1.2. Estruturação do modelo de interface

O modelo de interface com o usuário é uma parte essencial de todo o processo de desenvolvimento do sistema. Se um sistema deve alcançar todo seu potencial, é essencial que

sua interface com o usuário seja projetada para considerar as habilidades, experiências e expectativas dos usuários previstos.

Um bom projeto de interface com o usuário é essencial para a confiabilidade do sistema. Muitos dos chamados “erros do usuário” são causados pelo fato de que as interfaces do usuário não consideram as capacidades dos usuários reais e seu ambiente de trabalho. Uma interface mal projetada pode fazer com que os usuários sejam incapazes de acessar algumas das características do sistema, cometam erros e tenham a impressão de que o sistema o limita ao invés de ajudá-los a atingir o objetivo para o qual o sistema é usado (Sommerville, 2007)

Esta etapa abrange medidas de definição das estruturas de apresentação, navegação e interação do sistema. Tais definições são apresentadas nas próximas subseções.

6.1.2.1. *Definição da estrutura de apresentação*

Em geral, os sistemas adaptativos são desenvolvidos para conteúdos específicos ou uma determinada área do conhecimento. A qualidade destes sistemas depende especialmente do conteúdo da apresentação e da interatividade dos elementos do sistema (Engelhardt et al. 2004).

De acordo com Bugay (2008), alguns dos fatores que distinguem um conteúdo bem preparado e de fácil manutenção são: coerência e preservação da informação e da apresentação; reuso do material do conteúdo de forma simples, composta e fragmentada; organização e estrutura adaptativa de acordo com as necessidades do aprendizado; fácil autoria e atualização dos conteúdos representados.

Técnicas e métodos de apresentação e conteúdo utilizam esta estrutura com o objetivo de adaptar o conteúdo e/ou aparência do cenário acessado, por um determinado usuário, aos conhecimentos e objetivos definidos em seu modelo de usuário.

6.1.2.2. *Definição da estrutura de navegação*

Os mecanismos de navegação podem implicar ou atribuir certos comportamentos e lógicas de direção. A estrutura de navegação deve criar um contexto que faça sentido para o usuário, onde ele consiga encontrar respostas para suas questões.

O sistema de interação é composto por vários elementos gráficos (menus, ícones, etc.), que podem ser denominados pontos de interação. Esses elementos e a estrutura de navegação que eles compõem, se bem desenvolvidos, podem potencializar o processo de produção de uma interface.

A estrutura de navegação deve fornecer ao usuário informações sobre a sua posição dentro do cenário, por isso os elementos interativos que aparecem como menus devem permitir que o usuário navegue com facilidade em um ambiente que lhe seja familiar.

Técnicas e métodos de navegação adaptativa utilizam a estrutura de navegação para auxiliar o usuário a encontrar seus caminhos no ambiente, apresentando conexões condizentes com seus objetivos, conhecimentos e demais características definidas no perfil do usuário. A adaptação consiste em mudanças da estrutura de navegação ou na forma como essa estrutura é apresentada ao usuário (Brusilovsky, 1996).

6.1.2.3. Definição da estrutura de interação

A definição de um modelo de interação deve especificar as relações entre o usuário e o sistema. Do ponto de vista do usuário, o modelo de interação deve ser fundamentado em representações, permitindo-lhe interpretar o funcionamento do sistema. Essas representações têm por objetivo fazer a correspondência entre a linguagem do usuário e a linguagem do sistema. A linguagem do sistema designa a linguagem da aplicação, ou seja, o programa de computador, que traduz os estados do sistema. A linguagem do usuário designa a linguagem das tarefas, no senso cognitivo do termo, responsável por traduzir os estados dos objetivos do usuário.

A partir da descrição da tarefa e do usuário pode-se realizar o projeto no nível conceitual identificando as funções necessárias, o seqüenciamento destas funções, a definição do fluxo da interação, os mecanismos de interação, os objetos com os quais o usuário deverá interagir e a alocação tarefa/função que decide quais partes da tarefa serão realizadas pelo sistema e quais serão realizadas pelo usuário. Estas decisões constituem o modelo da interação.

6.1.3. Estruturação do modelo de Adaptação

O modelo de adaptação permite definir como o perfil do usuário é atualizado e como será feita a adaptação do sistema com base nas informações do modelo do domínio, do Modelo do Usuário e nas atividades de interação do usuário, utilizando para isso as regras de adaptação.

Essas regras especificam sob quais condições o conteúdo, a navegação e a apresentação do sistema são adaptados e também, quais valores dos atributos do usuário serão alterados e como isso irá ocorrer, baseando-se na observação do comportamento do usuário.

6.1.3.1. Modelagem do usuário

O Modelo do Usuário é o componente do sistema que representa as características de um determinado usuário. Essas características são constantemente atualizadas conforme o usuário interage com o sistema e são utilizadas para adaptar dinamicamente seu conteúdo, navegação e apresentação (Wu et al, 2009).

O Modelo do Usuário pode ser definido como a representação de algumas características e atitudes dos usuários que são úteis para completar a interação adequada e individualizada estabelecida entre o ambiente computacional e o usuário. O Modelo do Usuário pode ser definido, segundo Brusilovsky (1996) e Palazzo (2000), através de cinco principais características que são: conhecimento, metas do usuário, experiência, experiência de navegação e preferências.

A modelagem do usuário é tarefa bastante complexa e os múltiplos aspectos envolvidos no processo (modelagem estática, dinâmica, comportamental, etc.) contribuem para dificultar ainda mais sua execução, gerando resultados em níveis apenas parciais e restritos.

6.1.3.2. Definição das técnicas de aquisição

Quando um usuário utiliza pela primeira vez um sistema adaptativo, seu Modelo do Usuário precisa ser inicializado pois os valores de seus atributos estão sem nenhum valor. Essa inicialização pode ser realizada através de uma sondagem inicial, atribuindo valores padrões, ou ainda, a combinação dessas duas metodologias (Koch, 2000).

O uso de sondagem inicial através do preenchimento de questionários e/ou formulários é uma técnica utilizada para obter dados sobre o usuário e seu conhecimento em relação ao conteúdo do sistema. A dificuldade nesse tipo de metodologia é a determinação de quantas questões o usuário estará disposto a responder e quantas são necessárias para obter o conhecimento do usuário uma vez que isto pode variar muito em função de conteúdo da aplicação (Dara-Abrams, 2002).

O uso de estereótipos para inicializar o Modelo do Usuário consiste em enquadrar o usuário em um determinado grupo e utilizar as características desse estereótipo para inicializar o modelo (Wu et al., 2009). Um estereótipo de um Modelo de Usuário pode distinguir vários tipos de usuários, como por exemplo, usuário principiante, usuário inexperiente, usuário intermediário e usuário experiente (Brusilovsky, 1996).

Estabelecido e inicializado o Modelo do Usuário, este será atualizado conforme o usuário utiliza o sistema, tornando-o mais compatível com o usuário, refletindo suas crenças e

necessidades. A aquisição desses dados é o processo de coletar as diversas formas de entrada do usuário no sistema (uso de marcadores, comandos de voz, uso do teclado, controle do tempo, seqüência de passos utilizados para resolução de um problema, etc.). A partir do controle desses itens, que podem variar conforme a aplicação, o sistema pode deduzir o que o usuário conhece ou não conhece, suas preferências e seus objetivos (Rosatelli e Tedesco, 2003).

De acordo com Wu et al. (2009), as técnicas de aquisição do Modelo do Usuário podem ser caracterizadas como:

- Ativas ou passivas - As técnicas ativas interagem diretamente com o usuário, por meio de formulários, para levantar dados sobre o mesmo. Já as técnicas passivas constroem o Modelo do Usuário baseadas na conclusão de observações de seu comportamento, como dos cenários visitados ou na análise do histórico do usuário.
- Automática ou Determinada pelo usuário: A primeira abordagem é quando o usuário decide o momento de alterar seu modelo, enquanto nas técnicas automáticas o usuário não tem influência de quando ele é observado e quando o modelo é atualizado.
- Direta ou indireta: Uma técnica de aquisição é direta quando o sistema decorre diretamente baseado na informação de retorno do usuário, a qual será utilizada para atualizar o Modelo do Usuário, enquanto as técnicas indiretas constroem-no baseadas no resultado indireto desse retorno geralmente baseado em regras de inferência.
- Explícita ou implícita: As técnicas explícitas são aquelas onde o usuário conscientemente fornece as informações enquanto que as implícitas baseiam-se na observação do comportamento desse usuário independente de seu consentimento.
- Plausível ou lógica: As técnicas plausíveis requerem a representação explícita da incerteza e necessitam de mecanismos para manter a consistência no Modelo do Usuário. A manipulação dessas incertezas pode ser gerenciada com a utilização de redes Bayesianas, enquanto que as técnicas de aquisição lógica são bastante utilizadas em modelos de sobreposição.
- *Online* ou *offline*: Esta classificação depende do momento em que ocorre a aquisição, em tempo de execução ou não.

Em geral, o processo de aquisição das informações sobre o usuário é constituído de três fases distintas: coleta de dados, diagnóstico e consistência dos dados. No processo de diagnóstico distinguem-se, dois passos: transformação e avaliação. (Rosatelli e Tedesco, 2003).

O principal problema relacionado à coleta de dados é a confiabilidade desses dados, a quantidade de dados disponíveis e o seu nível de detalhe. A quantidade de dados necessária dependerá da complexidade do Modelo do Usuário definido pelo projetista do sistema.

O propósito do diagnóstico é detectar falhas que possam ocorrer na coleta dos dados. Geralmente consiste de duas etapas: a transformação dos dados coletados para que possam ser utilizados pelo sistema e a comparação de cada um desses dados resultados do comportamento do usuário com os definidos como “corretos” pelo projetista do sistema. O processo de transformação consiste em separar do total das informações coletadas as que são relevantes para estabelecer as habilidades do usuário. A avaliação se refere ao processo de comparar o conhecimento ou o comportamento do usuário com o conhecimento ou comportamento “correto” definido no sistema (Palazzo, 2004).

Segundo Koch (2000), durante a incorporação de novos dados ao Modelo do Usuário, aparecer geram inconsistências com os dados já existentes e gerar conflitos. Em um sistema com consistência de dados, ao ser detectado esse conflito, ele determinará qual hipótese será utilizada para solucionar o conflito.

6.1.3.3. *Definição das regras e mecanismo de adaptação*

O mecanismo de adaptação seleciona o conteúdo a ser apresentado levando em conta o Modelo do Usuário e atualiza esse modelo baseado nas interações do usuário com o sistema.

Esse mecanismo consiste de um grupo de regras que fornece a funcionalidade da adaptação e determina como os cenários são criados e apresentados ao usuário, bem como quais valores dos atributos do Modelo do Usuário serão alterados e como isso ocorrerá. Essas regras são disparadas pela interação do usuário com o sistema e elas definem o comportamento do mesmo (Koch, 2000).

As regras especificam como conceitos são selecionados, como os cenários são criados e/ou apresentados ao usuário e como o Modelo do Usuário é atualizado. Elas possuem o objetivo de encontrar um conceito com base nos relacionamentos; reunir informação sobre o usuário a fim de manter o Modelo do Usuário; adaptar os cenários baseados no estado do Modelo do Usuário. A condição de disparo pode ser dada tanto pelo comportamento do usuário ou por outra regra.

6.1.3.4. *Definição das técnicas e métodos de adaptação*

A inclusão de técnicas e/ou métodos de adaptação nos sistemas permitem aumentar sua usabilidade para um grupo extenso de usuários com variados graus de experiência sobre o assunto. Esta estratégia pode auxiliar os usuários a navegarem na aplicação, fornecer

conteúdos adicionais, comparativos ou alternativos ou mesmo ocultar partes dos conteúdos do sistema que não apresentam interesse ao usuário (Koch, 2000).

A seção 4.4 apresenta os espaços de adaptação de um sistema e as técnicas que podem ser aplicadas nestes espaços. Nota-se que não é possível implementar todas as técnicas de adaptação em um único sistema, pois isto o tornaria inutilizável. O projetista do sistema deve escolher as mais adequadas e desenvolver ou selecionar um sistema que suporte esta tecnologia.

6.2. Arquitetura das aplicações do contexto

Para desenvolver a estratégia proposta nesta tese, foi necessário analisar as características dos sistemas estudados e verificar suas principais contribuições. Além disso, a concepção dos componentes que englobam as particularidades e integram as áreas estudadas nesta pesquisa tornou-se indispensável para a elaboração das atividades contempladas nesta estratégia.

A partir do contexto apresentado, elaborou-se também um modelo de arquitetura com a finalidade de integrar aplicações adaptativas de Visualização de Informação com Realidade Aumentada.

O objetivo deste modelo é a definição dos componentes fundamentais que serão utilizados para o desenvolvimento destas aplicações. O conjunto de componentes determinados suporta de forma apropriada os requisitos levantados para a construção de tais aplicações. A definição dos mecanismos destes componentes incluiu decisões de projeto a respeito de como as aplicações devem ser implementadas em termos de: linguagens de programação; tecnologias/plataformas utilizadas; métodos, componentes e ferramentas para acesso e recuperação de dados; distribuição e comunicação entre componentes e aplicativos; entre outros.

A Figura 53 apresenta uma visão geral da arquitetura e seus respectivos componentes que integram as aplicações do contexto da pesquisa.

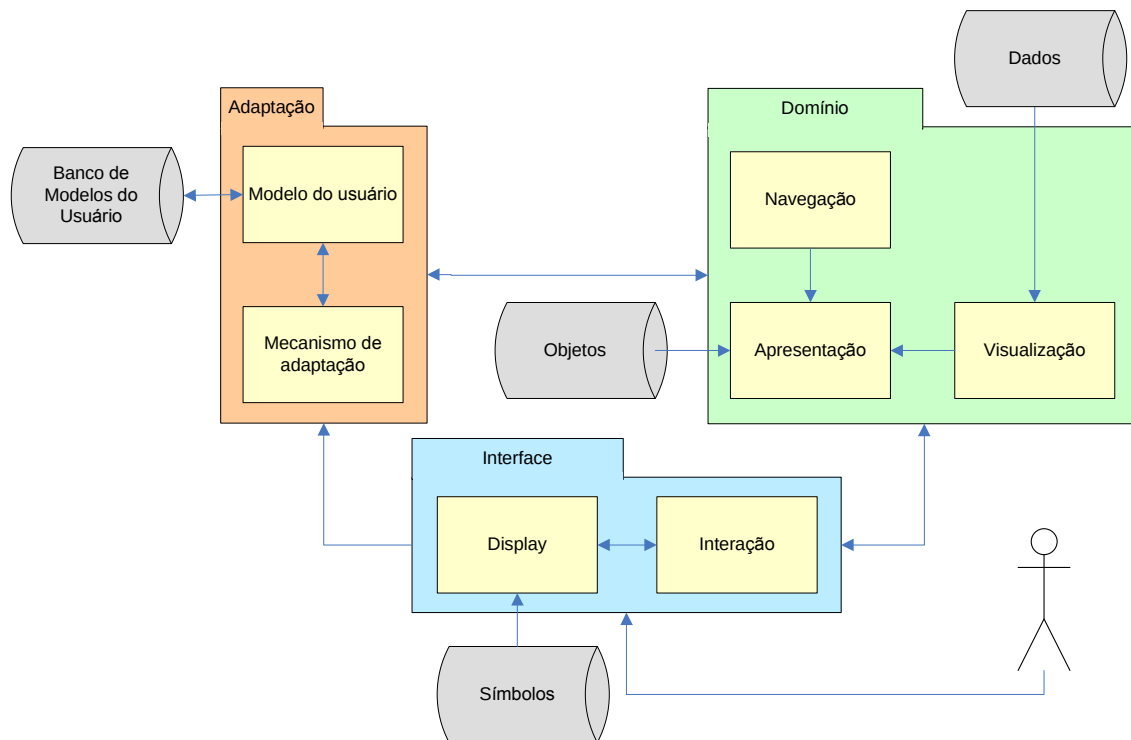


Figura 53 - Arquitetura proposta das aplicações do contexto.

A arquitetura proposta possui três pacotes fundamentais, a saber: Domínio, Adaptação e Interface. As próximas seções apresentam os detalhes de cada pacote.

6.2.1. Pacote Domínio

O pacote Domínio é responsável por estruturar e organizar as informações do contexto da aplicação e apresentá-las de maneira eficaz ao pacote Interface. O componente “Visualização” presente neste pacote centraliza as principais características das aplicações de Visualização de Informação. Esse componente tem como objetivo carregar e tratar os dados de forma estruturada. Além disso, é possível estender ao componente, métodos para transformações dos dados carregados, como por exemplo, a realização de operações aritméticas. O componente “Visualização” ainda é responsável pelo mapeamento visual destes dados e representá-los em uma estrutura visual. A estrutura visual pode ser construída por meio de várias linguagens gráficas respeitando diferentes técnicas de visualização.

O componente “Navegação” é responsável por criar e gerenciar a estrutura em categorias para apresentação do cenário virtual na interface do usuário. A estrutura representa a organização do conteúdo (objetos inclusos nos cenários virtuais) com a especificação de quais itens poderão ser vistos e como eles serão visitados pela navegação. Esta estrutura deve permitir que o usuário percorra uma trajetória a partir de um cenário inicial de sua

preferência, (e para o qual ele poderá retornar se ficar perdido, evitando o problema conhecido como desorientação do usuário), por meio da seleção voluntária do usuário das opções disponíveis na aplicação. É importante que a aplicação ofereça recursos básicos de navegação, tipicamente, opções para retornar para um cenário predefinido pelo usuário, assim como opções para retroceder ou avançar no caminho que o usuário estabelece percorrendo na aplicação. O caminho percorrido pelo usuário é frequentemente denominado de histórico de navegação e deve ser usado no pacote Adaptação para auxiliar no mapeamento do perfil do usuário. A Figura 54 apresenta o pacote Domínio e seus respectivos componentes.

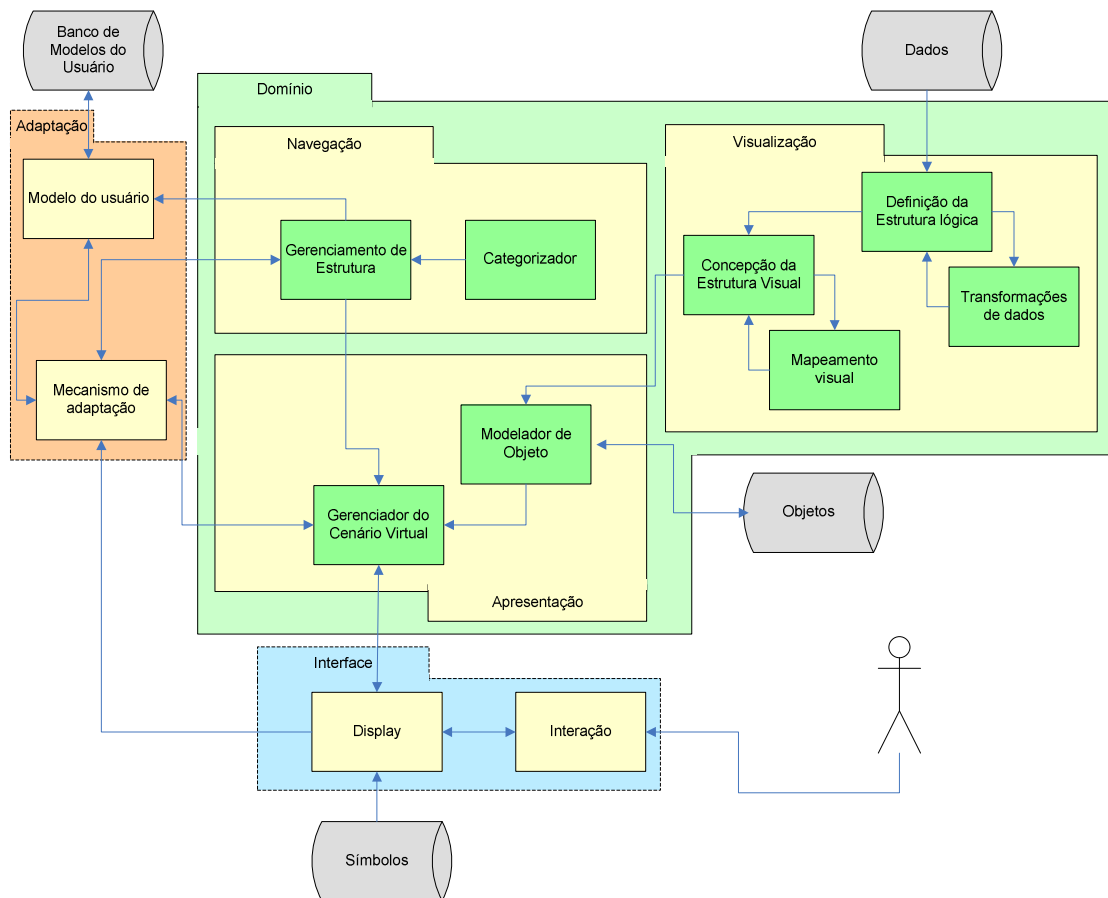


Figura 54 – Pacote Domínio.

O componente “Apresentação” gerencia o cenário virtual à forma de visualização do conteúdo, dos elementos interativos e da navegação que suportam as funcionalidades da aplicação. Este componente é responsável por ajustar o cenário virtual às preferências visuais ou necessidades do usuário. Com auxílio do Mecanismo de Adaptação, este componente é responsável por criar várias apresentações adaptando o conteúdo apresentado e a interface do ambiente ao Modelo do Usuário. Por exemplo, para usuários experientes é apresentado um conteúdo mais detalhado sobre o domínio, pois, presume-se que o usuário já conhece a parte

básica do conteúdo e consegue usar uma interface com mais recursos navegacionais. No caso de usuários iniciantes, acredita-se que um conteúdo mais básico e restrições de navegação sejam mais apropriados.

6.2.2. Pacote Interface

O pacote Interface é responsável por apresentar o resultado para o usuário de todo o processo elaborado pelo Mecanismo de Adaptação. Este pacote também é responsável pela interação do usuário com o sistema responsável pela realimentação de dados que serão atualizados no Modelo do Usuário e utilizados para a adaptação do sistema. Este pacote possui dois componentes: *Display* e Interação (conforme apresentado na Figura 55).

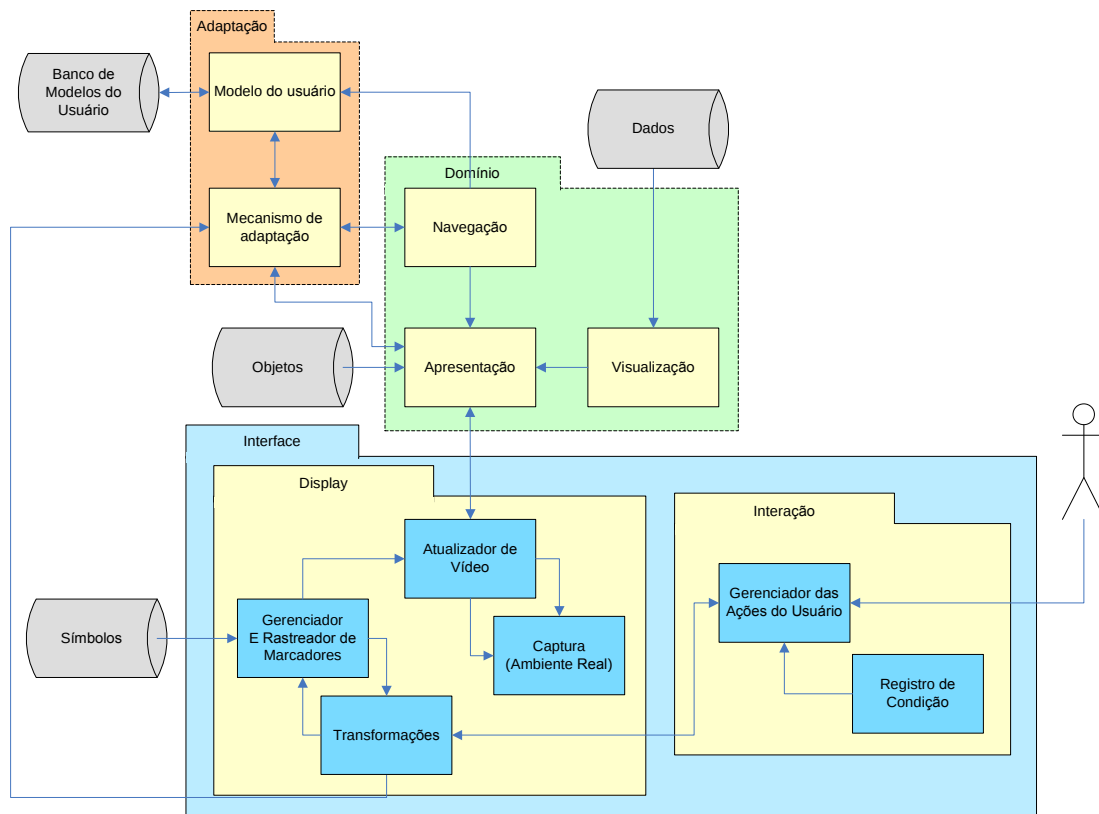


Figura 55 – Pacote Interface.

O componente “*Display*” coleta e transmite as solicitações do usuário para o Mecanismo de Adaptação, responsável por retornar a adaptação, seja esta de conteúdo, navegação ou de interface. As informações referentes às interações do usuário, por meio da interface apresentada, são coletadas e armazenadas para atualizar o Modelo do Usuário e utilizadas pelo Mecanismo de Adaptação.

O componente “Interação” permite definir o conjunto de ações que o usuário pode executar na aplicação. Este componente determina o conjunto de interações básicas e a

maneira como elas podem ser combinadas em estruturas mais complexas que permitem ao usuário interagir com o sistema. É possível considerar que os modelos de interação possam ser caracterizados pela maneira como combinam estilos, técnicas e padrões de interação.

6.2.3. Pacote Adaptação

O pacote Adaptação é responsável por construir o perfil para cada usuário e aplicá-lo no ajuste de diversos aspectos visíveis do sistema de acordo com suas características. Este pacote coleta as informações sobre o usuário através da observação de seu comportamento quando este está usando e navegando no sistema. O pacote Adaptação possui dois componentes básicos: Mecanismo de Adaptação e Modelo do Usuário (conforme ilustrado na Figura 56).

O componente “Mecanismo de Adaptação”, através do módulo indutor, seleciona o conteúdo a ser apresentado levando em conta o Modelo do Usuário e atualiza esse modelo baseado nas interações do usuário com o sistema. Esse componente consiste de um grupo de regras que fornecem a funcionalidade da adaptação e determinam como os cenários são criados e apresentados ao usuário, bem como quais valores dos atributos do Modelo do Usuário serão alterados e como isso ocorrerá. Essas regras são disparadas pela interação do usuário com o sistema e elas definem o comportamento do sistema.

O componente “Modelo de Usuário” é responsável por armazenar uma coleção de informações que descrevem um usuário de uma determinada aplicação. Para que as interfaces de um aplicativo possam ser adaptadas, é necessária a existência deste componente, o responsável por definir o que cada usuário deseja ter em sua área de navegação. Como cada usuário terá o seu modelo particular com uma versão do aplicativo moldada segundo suas preferências, faz-se necessário que este conjunto de modelos seja armazenado, na forma de uma base de modelos de usuários.

Há pelo menos cinco características associadas a um usuário que podem ser levadas em conta por um sistema adaptativo: conhecimento, objetivos, história, experiência, e preferências. Estas características são alteradas dinamicamente, tornando necessário ajustar continuamente o Modelo do Usuário para garantir sua permanente atualização (Bugay, 2008).

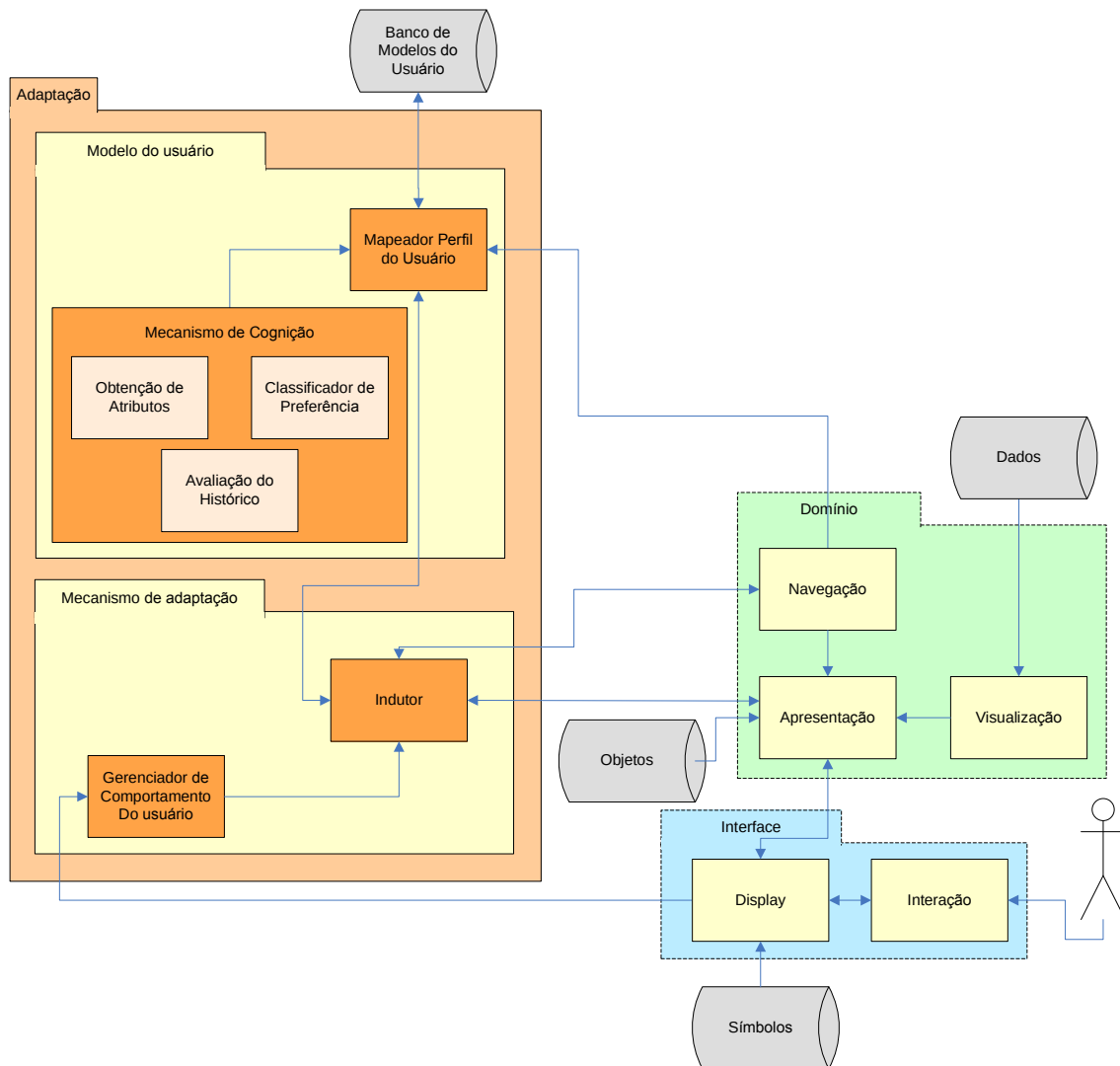


Figura 56 – Pacote Adaptação.

6.3. Considerações Finais

Neste capítulo foram apresentadas propostas de uma estratégia e arquitetura para aplicações adaptativas de Visualização de Informação com Realidade Aumentada.

A estratégia proposta visa auxiliar e planificar as atividades cogentes para desenvolver aplicações do contexto. Foram relatadas as etapas que compõem a estratégia e suas respectivas fases: Estruturação do modelo de domínio, estruturação do modelo de interface e a estruturação do modelo de adaptação.

O desenvolvimento de um modelo de arquitetura permitiu integrar e definir os elementos que formam as aplicações correspondentes ao âmbito deste trabalho. Tais elementos definem como a aplicação é dividida em partes menores e, assim, definem como ela é desenvolvida.

Este modelo divide-se em três pacotes fundamentais: Domínio, Adaptação e Interface. Essa divisão diminui o acoplamento entre os elementos internos da arquitetura, facilitando o desenvolvimento e a manutenção do sistema.

Projetar os elementos internos do sistema de modo que cada um faça parte apenas de um pacote lógico ajuda a aumentar a coesão e diminuir o acoplamento. A coesão aumenta, pois cada elemento será desenvolvido com o objetivo de ser parte de um pacote específico. Assim, cada elemento terá sua responsabilidade bem definida, mesmo que em alto nível. Com o baixo acoplamento, o desenvolvimento e a manutenção dos elementos também é facilitado, seja por possibilitar o desenvolvimento independente, seja por mudanças em um elemento terem menor impacto nos outros (Germoglio, 2009).

O modelo de arquitetura deve permitir, através da integração de seus componentes, as seguintes funcionalidades: estruturação e organização das informações do contexto da aplicação, apresentação do resultado de maneira eficaz para o usuário, considerar aspectos de interação do usuário com o sistema e construir o perfil de cada usuário, e aplicá-lo no ajuste de diversos aspectos visíveis do sistema de acordo com suas características.

Técnicas Desenvolvidas para Interação, Visualização e Adaptação

A finalidade deste capítulo é apresentar a descrição e a implementação, a partir de protótipos, das técnicas e métodos desenvolvidos nesta pesquisa. Como suporte ao desenvolvimento destes protótipos foi utilizada a biblioteca ARToolKit, discutida na Seção 5.2.1 desta tese. Primeiramente, são apresentadas as técnicas de interação, seguido pelas técnicas de visualização e finalmente as técnicas de adaptação idealizadas nesta pesquisa e que podem ser utilizadas no desenvolvimento das aplicações do contexto deste trabalho.

7.1. Técnicas de Interação

Inicialmente, desenvolveram-se vários experimentos para explorar as capacidades da biblioteca ARToolKit. Estes experimentos examinaram como as propriedades físicas dos marcadores podem ser usadas para acionar diferentes eventos de interação em sistemas de Realidade Aumentada.

Diferentes tipos de comportamentos e ações foram considerados, incluindo as posições dos marcadores com relação à projeção de vídeo, colisões de objetos virtuais, distâncias entre diferentes marcadores, oclusão, orientação espacial dos marcadores e comandos de voz. Esta seção descreve diferentes técnicas de interação que foram desenvolvidas e testadas no sistema.

7.1.1. Posição do marcador

O rastreamento usado em sistemas construídos com a biblioteca ARToolKit, por meio da identificação de características dos marcadores, permite processar a imagem e coletar algumas informações com relação à detecção, além de estimar sua posição e orientação no ambiente. A obtenção da posição e orientação do marcador é realizada por meio da análise da imagem de vídeo, que estabelece o relacionamento entre as coordenadas do marcador e as coordenadas da câmera (Kato, 2000).

O primeiro experimento realizado consistiu-se em utilizar a posição do marcador em determinados pontos pré-definidos da tela (projeção de vídeo apresentada ao usuário) para acionar uma ação específica.

Basicamente esta técnica consiste em verificar constantemente a posição do marcador na tela, enquanto o mesmo estiver visível, e comparar esta posição com posições previamente estabelecidas; caso o marcador esteja justaposto a alguma posição pré-definida (pode-se considerar uma margem de tolerância), executam-se as ações referentes àquele ponto específico. A Figura 57 apresenta o fluxograma responsável pela execução desta técnica.

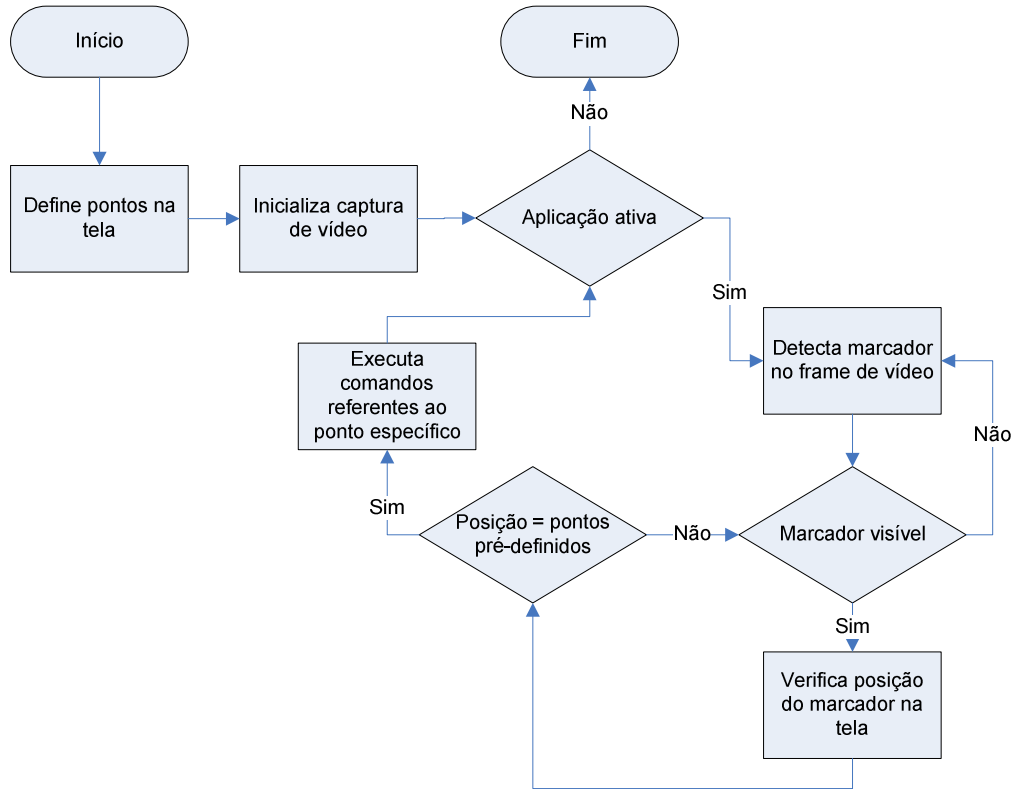


Figura 57 - Passos para execução da técnica de posição de marcadores.

Para testar a técnica de posição de marcadores foi desenvolvido um protótipo cuja tela projetada aos usuários foi fixada uma representação virtual dos eixos das coordenadas X e Y. Do lado das letras que representam as devidas coordenadas, anexou-se, entre parênteses, um sinal que em determinados momentos pode representar valores negativos “-“ de cor vermelha ou valores positivos “+” de cor azul, dependendo apenas da posição do marcador mediante a câmera de vídeo.

Ao realizar-se a movimentação do marcador diante a câmera, o sistema verifica a posição do marcador na tela e desenha o sinal referente à sua posição em suas respectivas coordenadas.

A Figura 58 apresenta diversas posições do marcador referente à tela: coordenada X negativa e coordenada Y negativa (a); coordenada X positiva e coordenada Y negativa (b);

coordenada X positiva e coordenada Y positiva (c); coordenada X negativa e coordenada Y positiva (c).

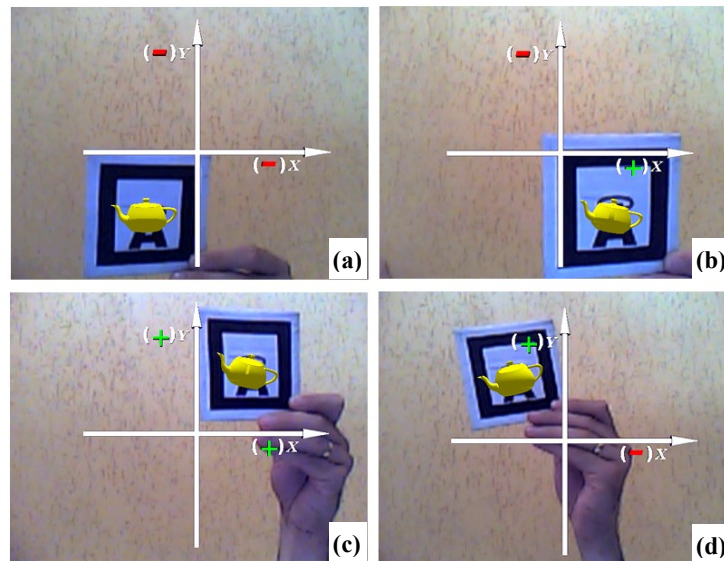


Figura 58 – Posição do marcador no eixo XY.

Outro exemplo desenvolvido utilizando a técnica de posição do marcador consiste-se em um sistema para definir níveis de detalhes que tem como característica alterar a resolução geométrica de objetos virtuais em função de parâmetros, como por exemplo, a distância da câmera e propriedades geométricas do objeto. Este conceito é conhecido como LOD (*Level of Detail*) e se aplica a toda técnica que altera a complexidade geométrica de um modelo em benefício do ganho de desempenho gráfico, procurando ao máximo manter a geometria “visual” do objeto.

Considerando-se o parâmetro câmera, sabe-se que na medida em que os objetos se distanciam, devido à projeção em perspectiva, tornam-se menores e conseqüentemente menos visíveis (representados por um número menor de pixels na tela). Logo, mesmo representados por um número menor de polígonos em relação à resolução geométrica máxima (que deve ser usada quanto o objeto está muito próximo da câmera) continuam com o mesmo aspecto visual.

A estratégia mais simples de se implementar um sistema que utilize uma técnica de otimização como LOD é gerar uma seqüência de modelos pré calculados, variando crescentemente na complexidade geométrica. Durante a renderização é necessário apenas informar qual modelo será usado em função da distância da câmera. À medida que o objeto se afasta, troca-se o modelo corrente por outro com menos detalhes.

A Figura 59 apresenta um exemplo de LOD com definição de três modelos para serem utilizados em função da coordenada Z (distância) da câmera para o marcador.



Figura 59 – Nível de detalhe (LOD – Level of Detail).

Esta estratégia tem como principal vantagem a eficiência, visto que é necessário apenas definir, em função da distância da câmera, qual modelo será apresentado. No entanto, a variação geométrica brusca na troca dos modelos pode ser facilmente perceptível. Uma possível solução é definir um grande número de modelos com transições suaves, porém esta solução pode penalizar o modelo pela grande quantidade de memória necessária.

7.1.2. Oclusão

Nas aplicações que utilizam a biblioteca ARToolKit como suporte é possível saber quantos marcadores estão cadastrados nesta aplicação, quais deles estão visíveis no ambiente (em campo de visão da câmera de vídeo) e quais não estão visíveis (ocultos). Neste contexto, por meio da obstrução de marcadores também é possível determinar diversas ações que podem ser usadas para acionar diferentes eventos na interface do usuário.

Desenvolveu-se um protótipo para testar a técnica de oclusão de marcadores. Basicamente, o protótipo utiliza dois marcadores com seus respectivos objetos cadastrados. Ao inicializar o vídeo, a aplicação procura pelos marcadores visíveis no ambiente e, conseqüentemente, também consegue saber quais dos marcadores estão oclusos. Em seguida, dependendo do marcador abstraído, pode-se executar uma série de eventos. No caso desta aplicação, realizou-se uma atualização do objeto virtual anexado a uns dos marcadores. A Figura 60 apresenta o ambiente da aplicação desenvolvida. Caso os dois marcadores estejam no campo de visão da câmera de vídeo, o *avatar* se mantém acomodado, caso o marcador referente ao “pincel” esteja obstruído o *avatar* questiona ao usuário: “Onde está o pincel?”;

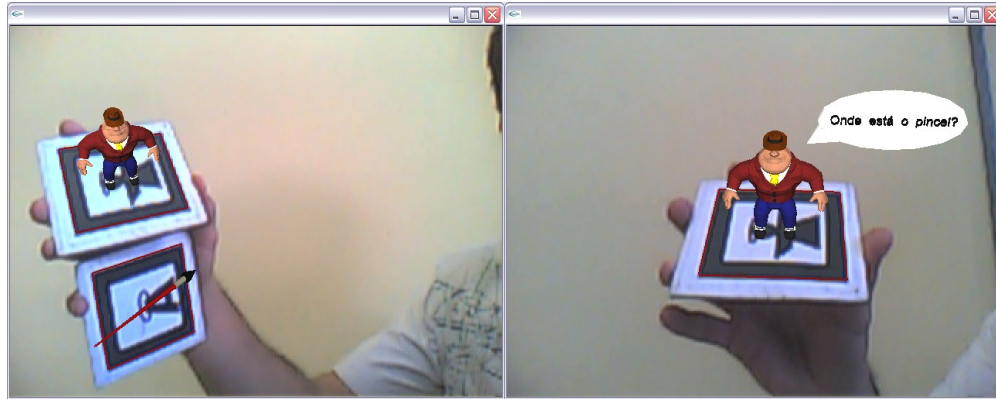


Figura 60 – Oclusão de marcadores.

Entretanto, estas aplicações são muito sensíveis a diversos fatores, como por exemplo, a intensidade de luz incidente sobre o marcador, pode facilmente dificultar o processo de reconhecimento e causar a oclusão insatisfatória dos mesmos por um período. Assim, tornou-se necessário desenvolver uma rotina que verifica em fração de segundos o tempo em que o marcador foi abstraído do ambiente. Desta forma, foi possível determinar que o evento só deve ser disparado quando um limite de tempo for obedecido. A Figura 61 apresenta o fluxograma para execução desta técnica.

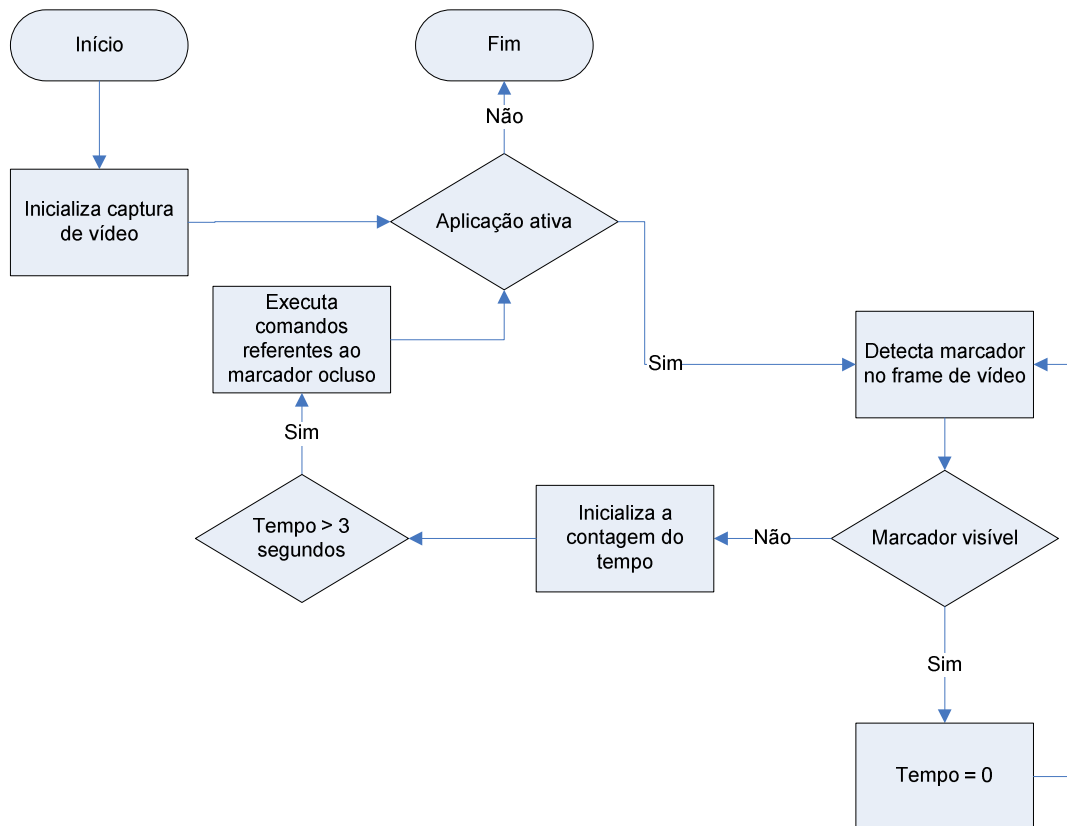


Figura 61 – Fluxograma para análise de oclusão de marcadores.

Implementou-se outro exemplo com esta técnica que consiste em uma aplicação com apenas um marcador inserido e, a partir da oclusão deste marcador por meio do usuário é possível mudar o objeto virtual anexado a este marcador. Um exemplo similar a este pode ser encontrado em um trabalho realizado por Gomes et. al. (2005) intitulado como: Uma Proposta de Interação com as Mãos para Aplicações em Realidade Aumentada.

7.1.3. Orientação

O terceiro experimento desenvolvido utiliza informações sobre a orientação dos marcadores para ativar um determinado evento na interface do usuário (ambiente misturado). Esta técnica consiste em monitorar os marcadores visíveis na tela de vídeo e verificar suas respectivas orientações no ambiente. É possível definir previamente diversas orientações e para cada uma, especificar um comando concernente.

Por exemplo, é possível definir que quando o usuário vire um marcador em um determinado eixo (X, Y ou Z) seja executada uma ação específica. Com base nisto, desenvolveu-se um protótipo que utiliza informações sobre a orientação dos marcadores dispostos no ambiente para alterar o objeto virtual apresentado na interface do usuário.

Inicialmente o programa verifica se existe um marcador visível na interface do usuário. Em seguida, se houver algum marcador em cena, o programa captura, a todo instante de tempo, informações sobre a orientação deste marcador no ambiente.

Caso o usuário vire este marcador pelo menos 90° para esquerda ou 90° para direita e aguarde um limite determinado de tempo nesta orientação, o programa atualiza o objeto virtual apresentado na cena, conforme apresentado na Figura 62.

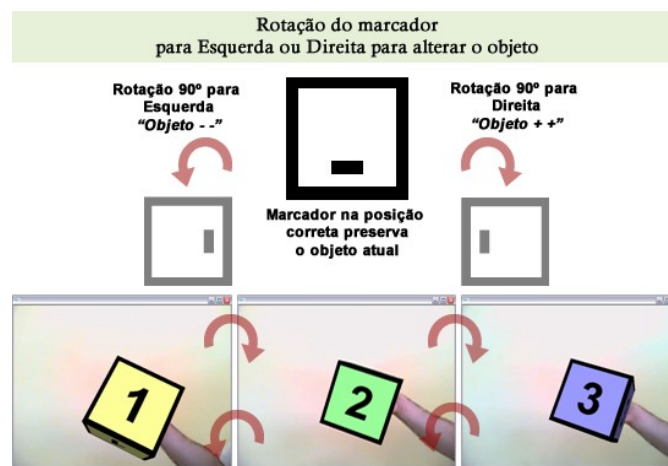


Figura 62 – Mudança de objetos a partir da orientação do marcador.

A Figura 63 descreve o algoritmo para o módulo de tempo implementado neste protótipo. As variáveis *iteração* e *tempo* são declaradas como variáveis globais e inicializadas com o valor zero. Os parâmetros *objVisivel* e *fps* indicam, respectivamente, se o objeto virtual encontra-se visível no ambiente e o valor de frames por segundo executados na aplicação de vídeo.

```

módulo marcaTempo(inteiro: objVisivel, fps)
  se (objVisivel=1)
    então
      início
        iteração ← iteração+1;
        se ((iteração mod fps)=0)
          então
            tempo ← tempo+1;
          fimse;
        fim;
      senão
        início
          iteração ← 0;
          tempo ← 0;
        fim;
      fimse;
    retorne tempo;
  fimmódulo;
  
```

Figura 63 – Algoritmo para o módulo de tempo.

Esta atualização é feita a partir de uma lista pré-cadastrada de objetos virtuais para atuarem no ambiente misturado. Ao iniciar o aplicativo, o programa apresenta o objeto da primeira posição da lista. Posteriormente, o objeto pode ser alterado de acordo com a ação do usuário: apresenta o próximo objeto da lista caso a rotação do marcador seja para direita e; o objeto anterior da lista caso a rotação seja para esquerda.

É importante ressaltar que, caso o objeto seja o primeiro ou o último da lista, é impossível decrementar (para o primeiro caso) ou incrementar (para o segundo caso) uma posição da lista. Logo, para estas situações não se deve realizar alguma ação no ambiente. A Figura 64 ilustra o fluxograma desta aplicação.

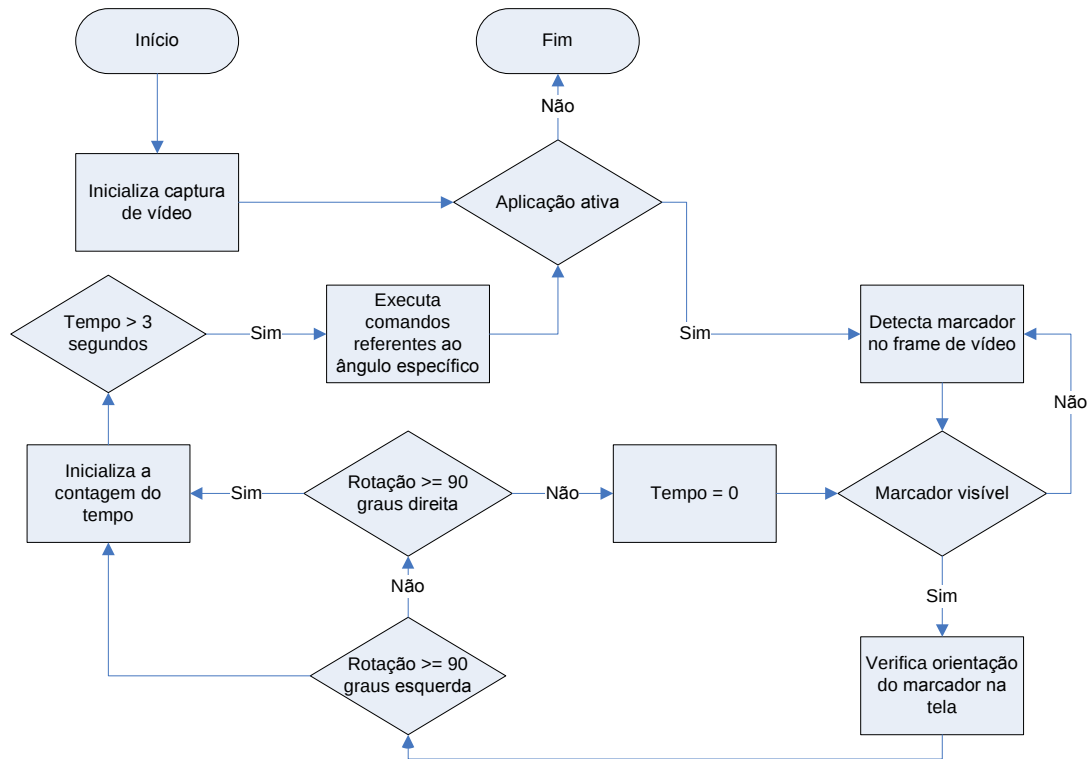


Figura 64 – Passos para execução da técnica de orientação de marcadores.

7.1.4. Colisão e Distância entre marcadores

Utilizando informações sobre a posição dos marcadores visíveis no campo de visão da câmera de vídeo é possível analisar a distância entre cada marcador apresentado e, conseqüentemente, analisar se houve colisão entre estes marcadores e/ou entre os objetos virtuais apresentados (caso seja conhecida a estrutura geométrica destes objetos).

A Figura 65 apresenta o fluxograma para determinar a distância entre marcadores e/ou objetos virtuais e detectar a colisão destes.

A primeira aplicação desenvolvida para testar esta técnica consiste em verificar quais marcadores estão visíveis e analisar a distância entre eles. Caso a distância entre estes marcadores ultrapasse uma tolerância previamente definida, então é considerado que ocorreu uma colisão entre esses marcadores e, imediatamente os objetos sobrepostos a estes marcadores sofrem uma alteração.

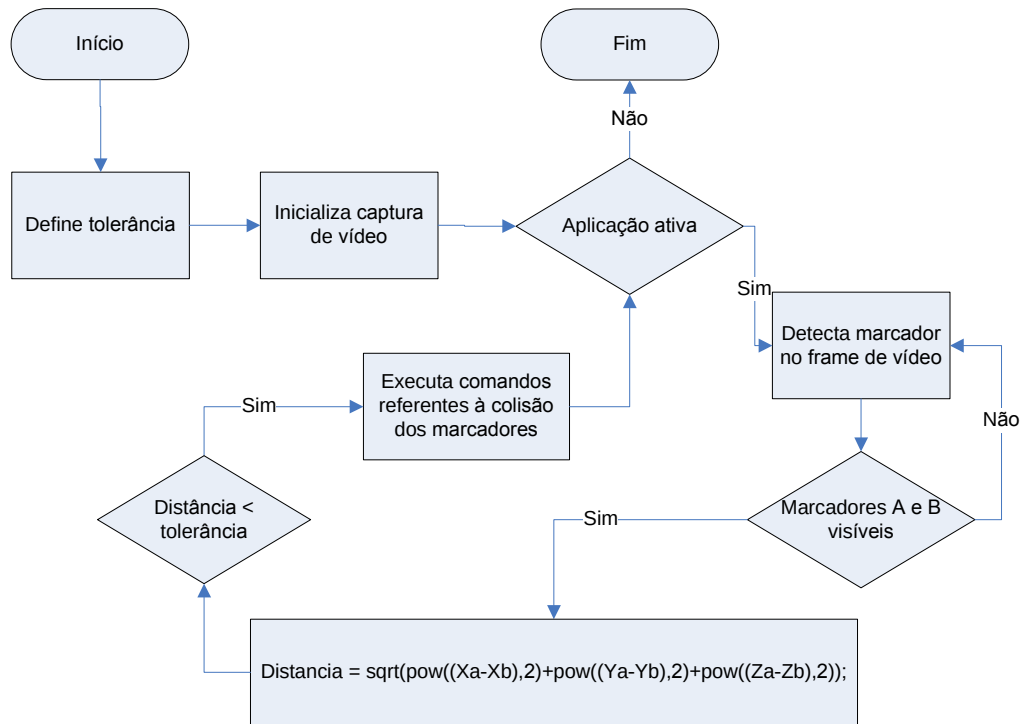


Figura 65 – Fluxograma para determinar a colisão de objetos virtuais.

A segunda aplicação desenvolvida neste contexto refere-se a um ambiente composto por três potes de tinta (vermelha, verde e azul) e um bule de chá. Quando o usuário apresenta o marcador à câmera é sobreposto a este, um pincel virtual. A aplicação verifica a posição deste pincel e analisa a distância deste com relação aos potes de tinta e ao bule de chá. Caso o usuário colida o pincel a um pote de tinta (a ponta do pincel recebe a cor contida no pote colidido) e posteriormente colida ao bule de chá, o mesmo sofre uma alteração de cor. Caso o usuário colida em outro pote e em seguida no bule de chá, as cores seleccionadas se misturam alterando novamente as características do bule com a cor correspondente. A Figura 66 apresenta o ambiente desenvolvido.

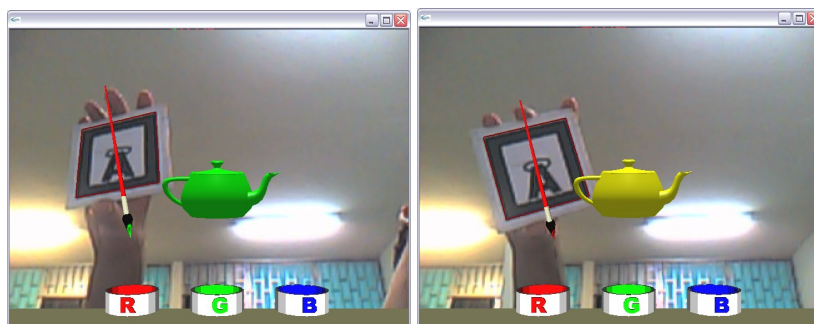


Figura 66 – Colisão de objetos virtuais.

7.1.5. Combinação de marcadores

A técnica de combinação de marcadores visa verificar os marcadores visíveis no campo de visão de vídeo e analisar possíveis combinações, as quais poderão acionar determinados eventos. A Figura 67 apresenta o fluxograma referente aos passos necessários para a implementação desta técnica.

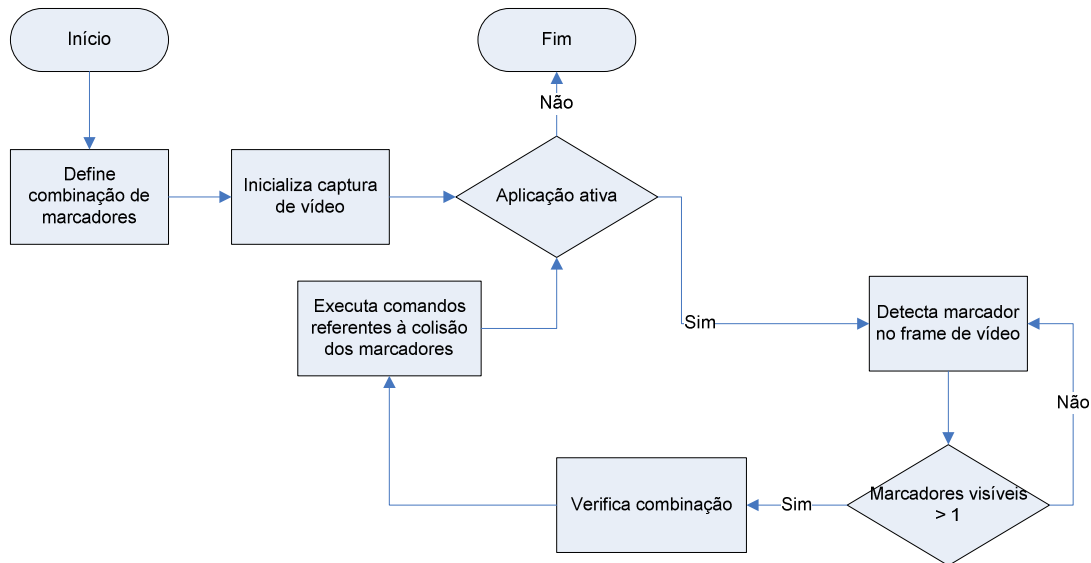


Figura 67 – Passos para determinar a combinação de marcadores.

Desenvolveu-se um protótipo para demonstração desta técnica que consiste em um ambiente composto por um bule de chá centralizado no centro da tela em constante rotação. Foram confeccionados três marcadores, em cada marcador foi relacionada uma placa colorida (vermelha, verde e azul). Inicialmente o bule apresenta-se em preto. Em seguida, quando o usuário apresenta um marcador com uma cor específica à câmara de vídeo, o bule altera a cor para a cor correspondente ao marcador. Se o usuário retirar o marcador da cena, o bule retorna às configurações iniciais. Caso o usuário apresente mais de um marcador na cena, ou seja, faz uma combinação de marcadores, altera-se a cor do bule para a cor correspondente à mistura de cores dos marcadores apresentados. A Figura 68 ilustra o ambiente do protótipo desenvolvido.

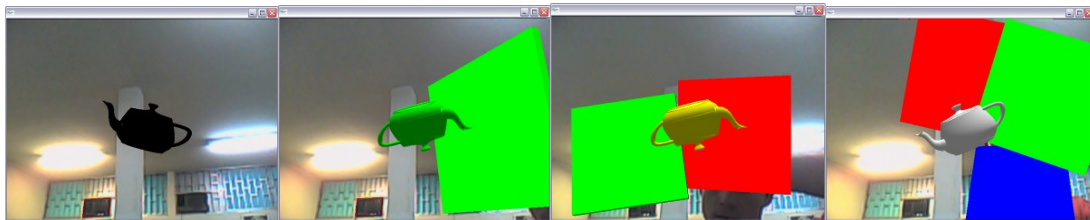


Figura 68 – Combinação de marcadores.

7.1.6. Comandos de voz

Foi desenvolvido um protótipo para testar a interação com objetos virtuais no ambiente de Realidade Aumentada por meio de comandos de voz do usuário. Para isso, foi utilizada como suporte nesta aplicação a ferramenta gratuita *Typle* (Typle, 2009) que reconhece até quinze comandos de um usuário pré-cadastrado.

Para que o protótipo de Realidade Aumentada trabalhe em conjunto com a ferramenta *Typle*, foi necessário criar programas que interferissem na ação dos objetos virtuais no ambiente misturado. Neste exemplo, além do protótipo de Realidade Aumentada, foram desenvolvidos outros quatro programas simples que serviram de conexão entre a ferramenta de suporte e o protótipo desenvolvido. Estes programas foram vinculados à ferramenta de suporte e usados para auxiliar nas ações dos objetos virtuais no ambiente misturado. A Figura 69 apresenta os passos realizados no protótipo desenvolvido.

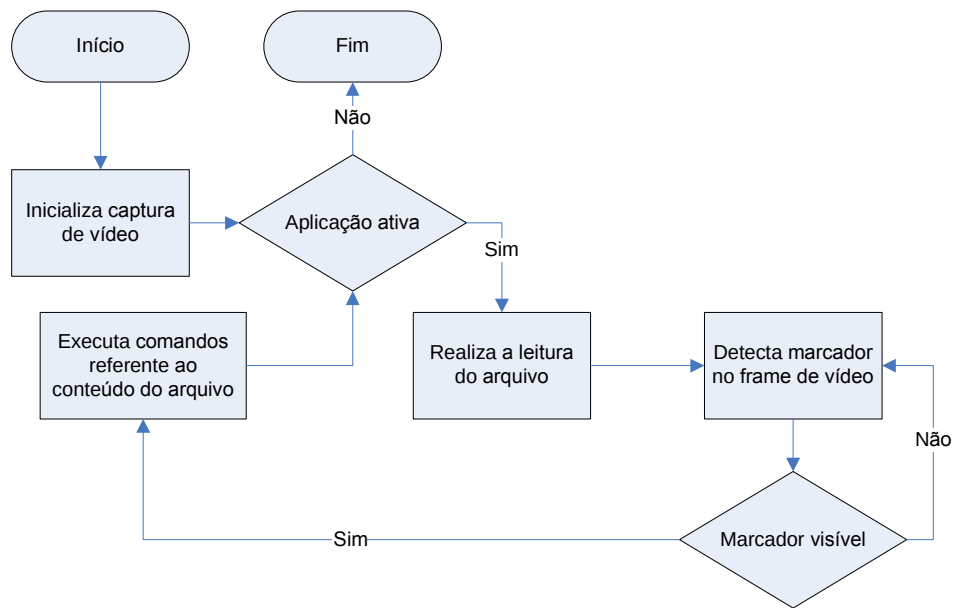


Figura 69 – Fluxograma referente ao protótipo.

Basicamente, o protótipo desenvolvido realiza uma leitura constante de um arquivo com informações sobre ações dos objetos virtuais no ambiente misturado. Os programas auxiliares, ao serem executados pela ferramenta suporte modificam este arquivo com novas informações. Esta mudança faz com que na próxima vez que o protótipo leia este arquivo altere o comportamento dos objetos específicos no ambiente.

Percebe-se que no fluxograma apresentado na Figura 69 o processo “Realiza a leitura do arquivo” é executado enquanto a aplicação estiver ativa. Assim, quando a ferramenta suporte detectar um comando de voz pré-configurado, ela executa a aplicação referente ao

comando detectado (Figura 70), que tem por finalidade modificar os parâmetros do arquivo lido pelo protótipo. Assim, quando o protótipo verifica novamente o arquivo, os novos parâmetros lidos definirão o que será alterado no ambiente.

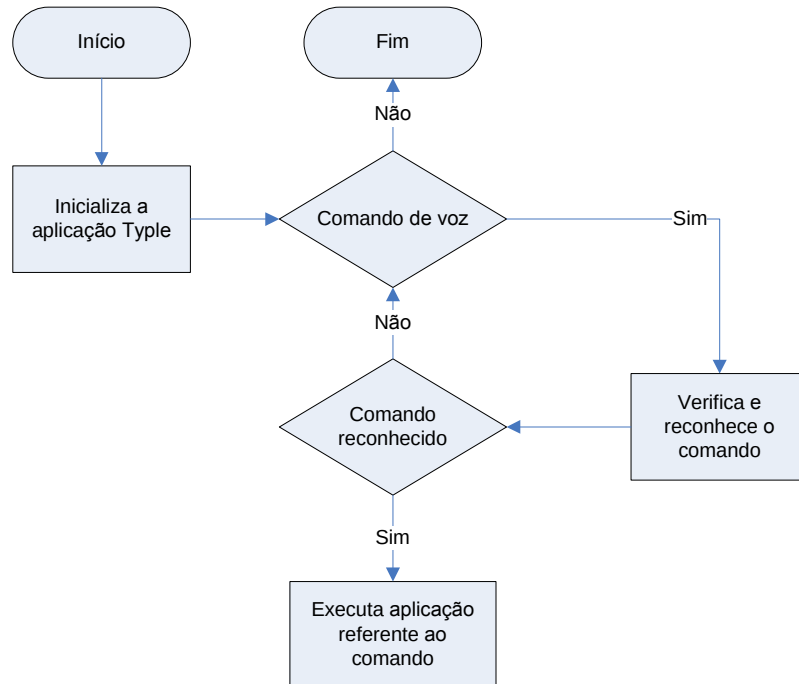


Figura 70 – Fluxograma referente à ferramenta suporte.

7.1.7. Acionamento de Comandos via teclado

Diversos dispositivos de entrada podem ser usados para interagir com os objetos virtuais sobrepostos à cena do usuário. Comandos emitidos por meio do teclado podem ser úteis e até facilitar o processo de interação com as aplicações de Realidade Aumentada. Por exemplo, suponha que o usuário adicione um marcador à cena e por um determinado momento o usuário prefira que o objeto sobreposto ao marcador se movimente, em outro momento o usuário necessita que fique estático. Uma das possibilidades para resolver essa situação seria o uso do teclado. Ao acionar uma tecla específica do teclado, a aplicação verifica o comando emitido e executa os eventos referentes a ele. A Figura 71 apresenta o fluxograma referente aos passos para o uso de comandos via teclado.

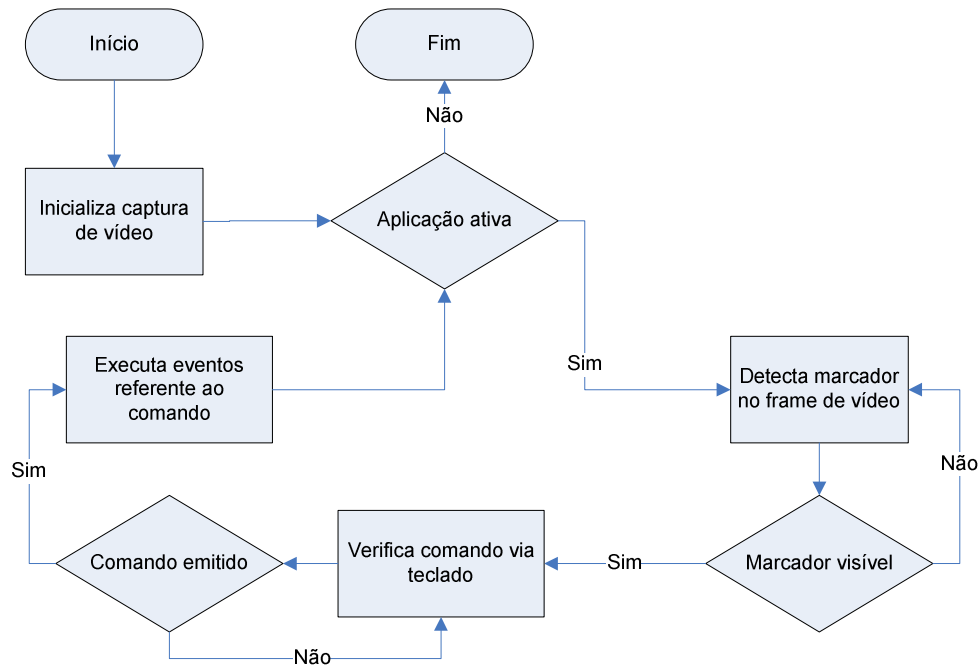


Figura 71 – Comandos via teclado.

7.2. Técnicas de Visualização

Nem toda forma de visualização é útil para o usuário. Em geral, dois atributos de uma visualização podem ajudar a determinar a sua provável utilidade. Esses atributos apresentados por Mackinlay (1986) como critérios para avaliar linguagens gráficas são a expressividade e a efetividade.

Uma visualização pode ser considerada expressiva se ela é capaz de mostrar todos os dados de interesse do usuário e nada mais que isso. Já a efetividade está relacionada com a facilidade de se compreender os dados apresentados. Para ser efetiva, uma visualização deve ser de rápida percepção e induzir a uma quantidade menor de erros de interpretação do que outras formas de se visualizar os mesmos dados.

Efetividade e expressividade são aspectos importantes, porque sem os mesmos uma visualização pode não ser capaz de enfatizar padrões relevantes nos dados, não trazendo, assim, quaisquer informações novas além daquilo que já é trivialmente conhecido. Além disso, uma visualização também pode ser de difícil entendimento ou, até mesmo, sugerir padrões que na verdade não existe, o que pode levar a uma interpretação errônea dos dados.

Esta seção apresenta diversas técnicas de visualização desenvolvidas para representarem graficamente os dados armazenados pelas aplicações implementadas nesta tese. É importante observar que para uma técnica de visualização ser expressiva e efetiva

dependerá de onde esta técnica será aplicada. Para desenvolver estas técnicas é necessário considerar o foco de cada aplicação, conforme descrito na Seção 3.2 deste documento.

7.2.1. Gráficos auxiliares

Os gráficos desenvolvidos neste trabalho foram Linhas e Colunas. Um gráfico de linhas exhibe uma série como um conjunto de pontos conectados por uma única linha. As linhas de gráfico são usadas para representar grandes quantidades de dados que ocorrem em um período de tempo contínuo. Um gráfico de coluna exhibe uma série como um conjunto de barras verticais agrupadas por categoria. Os gráficos de coluna são úteis para mostrar alterações de dados em um período de tempo ou para ilustrar comparações entre itens. Os gráficos de colunas são usados com mais frequência para mostrar comparações entre grupos.

Os gráficos de colunas foram implementados de duas maneiras: utilizando a linguagem VRML e usando a OpenGL com a linguagem C. Os gráficos de linhas foram desenvolvidos usando apenas a primeira abordagem. Para cada abordagem foram desenvolvidas funções a fim de facilitar as futuras implementações. Os valores interpretados pelos gráficos são passados por parâmetros em forma de matriz. Estes valores são resgatados de arquivos do formato CSV (*Comma Separated Value*), que podem ser exportados facilmente de programas de planilhas eletrônicas como o Excel.

A Figura 72 (a) e a Figura 72 (b) ilustram os gráficos de linhas e barras, respectivamente, construídos com VRML. A Figura 72 (c) apresenta o gráfico de barras desenvolvido com OpenGL.

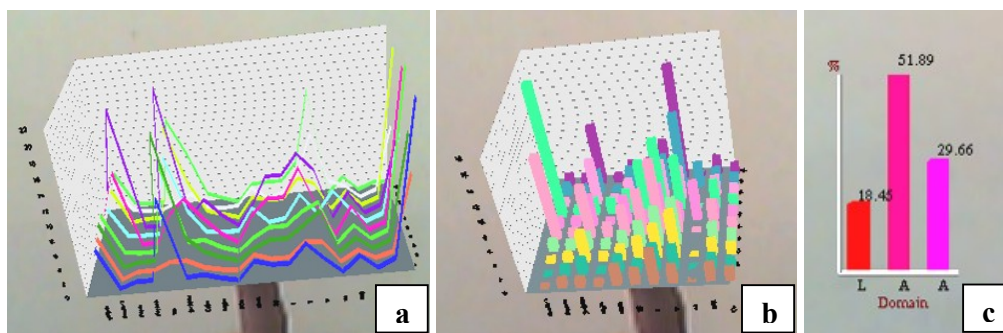


Figura 72 – Gráfico de linhas (a) e gráficos de barras (b, c).

7.2.2. Ícones

Um ícone é um objeto com geometria e aparência paramétricas, as quais podem ser arbitrariamente vinculadas a dados. A função de um ícone é atuar como uma representação simbólica e mostrar as características essenciais de um domínio de dados ao qual o ícone se

refere. Assim é possível obter uma visualização dos dados de uma forma mais clara e compacta.

A Figura 73 apresenta exemplos de ícones desenvolvidos no estudo de caso desta Tese. O domínio do estudo aplica-se na administração de uma fazenda e será discutido no Capítulo 8 deste documento.



Figura 73 – Exemplo de ícones.

Os anéis em torno de cada objeto foram usados para identificar as categorias e o grau de interesse de cada uma destas categorias. A aplicação abrangeu três tipos de categorias: administração, pecuária e agricultura. Os anéis referentes à categoria administração apresentam-se em cor azul, os referentes à categoria pecuária em cor vermelha e os relativos à categoria agricultura em cor verde. Para representar o grau de interesse do usuário sobre cada uma destas categorias optou-se por controlar o nível de transparência destes anéis. Sendo que, quanto mais transparente for o anel, entende-se que menos interesse o usuário terá por aquela determinada categoria. Os níveis de transparência podem variar entre os valores de 0 a 80%. A Figura 74 apresenta os passos utilizados na atualização dos anéis em torno dos ícones dispostos no cenário do sistema.

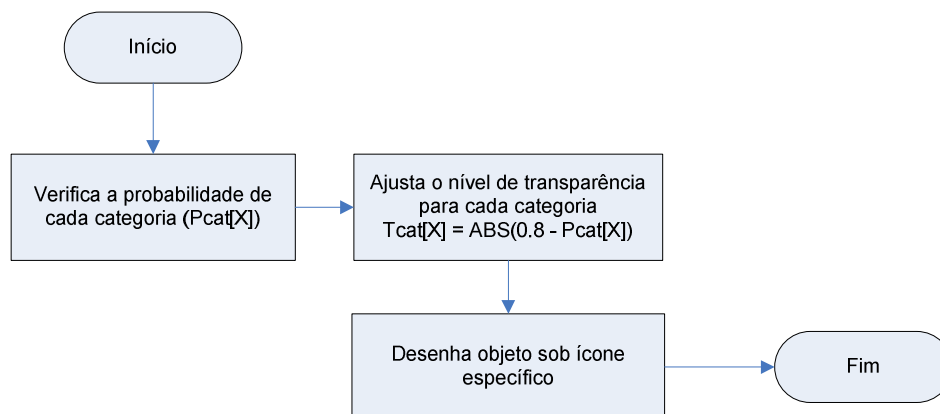


Figura 74 – Fluxograma referente à atualização dos anéis em torno do objeto virtual.

7.2.3. Rótulos

Um rótulo é toda e qualquer informação referente a um objeto que esteja transcrita em sua superfície. O rótulo deve ser afixado na vista principal do objeto e visa apresentar as

informações relacionadas ao mesmo. O significado e interpretação de valores dos rótulos dependem da configuração do mesmo. Pode-se, por exemplo, descrever as propriedades dos objetos de maneira simplificada, para usuários experientes (considerando que este usuário já conhece o conceito referente àquele objeto), ou de maneira mais completa, para usuários inexperientes.

Desenvolveu-se uma aplicação contendo diversos objetos virtuais no mesmo cenário. Cada objeto foi identificado anexando um rótulo em sua lateral. A partir do perfil do usuário é possível modificar a informação apresentada nestes rótulos. A Figura 75 apresenta um exemplo de ícones que representam a classe funcionário e a classe criação de gado com seus respectivos rótulos em anexo.



Figura 75 – Apresentação de rótulos sobre os ícones.

7.3. Métodos e Técnicas de Adaptação

As técnicas de adaptação referem-se àquelas que produzem o efeito de adaptação no sistema. Cada técnica pode ser caracterizada por um tipo específico de conhecimento e um algoritmo correspondente de adaptação. Os métodos de adaptação são definidos como generalizações destas técnicas e baseado em uma idéia clara de adaptação que pode ser apresentada a nível conceitual. Os espaços para adaptação dos sistemas em contexto podem ser visualizados na Seção 4.4. Diferentes técnicas e métodos podem ser descritos para adaptar estes espaços. As técnicas e métodos para a adaptação de conteúdo e apresentação permitem manipular o conteúdo de forma a adaptá-lo às características do usuário. Já as técnicas e métodos de navegação permitem adaptar a estrutura de navegação para auxiliar os usuários na navegação do sistema.

Para que as técnicas de adaptação possam ser utilizadas no sistema de maneira efetiva é necessário recuperar características dos usuários que possam determinar suas preferências, objetivos e experiências. Algumas técnicas da área de Inteligência Artificial consistem em modelar computacionalmente o processo de aprendizado humano. Isto é, a aquisição e a representação efetiva de conhecimentos, o desenvolvimento de habilidades e a descoberta de novos fatos e teorias por meio da observação e experimentação. Existem várias maneiras para

aprender um novo conceito, determinando estratégias diferentes que são classificadas em aprendizado por hábito, instrução, dedução, indução ou por analogia (Monard et al., 1997).

Estas técnicas permitem gerar suposições através do raciocínio sobre um conjunto de fatos existentes. Com base nestas suposições, o sistema adaptativo decide como personalizar conteúdos e/ou ligações para cada tipo de usuário.

Diversos paradigmas podem ser utilizados para a implementação destas técnicas, tais como: simbólico (o aprendizado acontece por representação simbólica de conceitos), estatístico (usa medidas estatísticas para encontrar uma boa aproximação do conceito induzido como método de classificação), baseado em instâncias (classifica exemplos com base em outros exemplos semelhantes), conexionista (sistemas matemáticos inspirados no modelo biológico do cérebro humano) e evolutivo (fundamenta-se na genética e na seleção natural, onde os indivíduos ou soluções de uma população competem de maneira que os mais fortes proliferam, produzindo variações de si mesmo).

Não é possível determinar um único algoritmo de aprendizado que apresente o melhor desempenho em todos os problemas. No entanto, em um estudo efetuado (De Aragão, 2004) para encontrar um algoritmo que apresentasse um bom desempenho nos problemas de adaptação de estrutura em Hipermídia Adaptativa, comparou-se diferentes algoritmos de diversos paradigmas: Coeficiente de Correlação de Pearson (paradigma baseado em instâncias); Classificador Bayesiano e Máquina de Vetores de Suporte (paradigma estatístico) e; Perceptron Multicamadas (paradigma conexionista). Notou-se que o paradigma estatístico obteve um melhor desempenho no estudo. Os algoritmos de Classificador Bayesiano e Máquina de Vetores de Suporte apresentaram os melhores resultados de uma maneira geral, sendo que o primeiro supera em todos os experimentos o desempenho do segundo. Apontando que o Classificador Bayesiano tem se mostrado bastante efetivo para este tipo problema (Friedman et al., 1997, De Aragão, 2004).

Neste contexto, optou-se por apresentar nesta pesquisa apenas o paradigma estatístico, de maneira mais específica o algoritmo Classificador Bayesiano o qual é apresentado a seguir.

7.3.1. Classificador bayesiano

O modelo Bayesiano interpreta a probabilidade condicional, onde o grau de crença de um agente causa um efeito em outro agente. Assim, $P(A|B)$ reflete a probabilidade de A SE B ocorrer. Considerando $P(B)$ a probabilidade a priori, pois corresponde à probabilidade existente antes de qualquer evidência, e $P(A)$ a probabilidade a posteriori, sendo a probabilidade após conhecer a evidência de B , a regra de Bayes é dada pela equação (1).

$$P(A | B) = \frac{P(B | A)P(A)}{P(B)} \quad (1)$$

As probabilidades bayesianas consideram as probabilidades como subjetivas e conexas ao conhecimento das pessoas. A probabilidade de um evento é, sob o ponto de vista bayesiano, um grau de crença na probabilidade de que o evento acontecerá, sob o enfoque de algum indivíduo. Uma vantagem da probabilidade bayesiana é que não é necessário associar experimentos para estimar a probabilidade associada a eventos (Schreiber, Wazlawick, and Borges, 2002).

Uma rede bayesiana é um formalismo que mistura a teoria dos grafos e a teoria da probabilidade. A maioria dos eventos é condicionalmente independente da maioria dos outros, assim, podem-se criar conjuntos de variáveis que sejam dependentes e manter probabilidades conjuntas apenas para essas variáveis. Para isso, é necessário um sistema de controle que reconheça essa estrutura e calcule as probabilidades condicionais corretamente.

A estratégia de atualização dos parâmetros da Rede Bayesiana pode alterar os perfis do usuário em dois momentos distintos. O primeiro deles é atualizar e acatar as modificações do perfil depois que o usuário encerrar sua navegação no sistema. Assim, da próxima vez em que o usuário entrar no sistema, o mesmo estará moldado segundo seu perfil. O segundo ocorre em tempo de execução e durante o período em que o usuário estiver navegando no sistema. Cada interação do usuário com o sistema poderá ocasionar uma propagação das novas evidências na Rede Bayesiana atualizando os atributos de seu perfil e acarretando novas adaptações. A Figura 76 apresenta as equações de atualização utilizadas nesta pesquisa.

A monitoração do usuário deve ser realizada no decorrer de todo o período em que este usuário estiver acessando o sistema. Os dados gerados por este monitoramento fornecerão as evidências para a atualização dos parâmetros da Rede Bayesiana e, assim, modificar o modelo inicial do usuário. O processo de monitoração iniciará logo que o usuário for identificado no sistema e registrará todo o seu percurso no mesmo.

A equação (2) calcula a probabilidade relativa de acesso de cada uma das categorias do sistema. Como a soma das probabilidades deve estar entre zero (0) e um (1) verifica-se, através da equação (3), se o somatório das probabilidades geradas pela equação (2) ultrapassarem o total de um (1), caso ultrapasse este valor, o fator de correção deve ser retirado das probabilidades iniciais, sendo a equação (4) a responsável por esta tarefa.

$$PI_i = \left(\left(\frac{CA_i * Maior(TC)}{TC_i * \sum TC_i} \right) * Pi \right) + Pi \quad (2)$$

Onde:

PI_i : Probabilidade Relativa inicial de uma categoria;

CA : Cenários acessados de uma determinada categoria;

$Maior(TC)$: Retorna a categoria com maior número de cenários;

Pi : Probabilidade relativa atual.

$$FC = \sum PI_i - 1 \quad (3)$$

Onde:

FC : Fator de correção.

$$PF_i = PI_i - FC * P_i \quad (4)$$

Onde:

PF_i : Probabilidade relativa final de uma categoria.

Figura 76 - Equações adaptadas para atualização dos parâmetros da Rede Bayesiana (De Oliveira et al., 2003).

7.3.2. Conteúdo e Apresentação Adaptativa

O objetivo de adaptar o conteúdo e apresentação de um cenário acessado por um determinado usuário é ajustá-lo às suas preferências, conhecimentos e objetivos definidos em seu perfil.

O conteúdo apresentado ao usuário é modificado para melhor corresponder ao seu modelo. A idéia é adaptar o conteúdo de cada cenário e sua maneira de apresentação no sistema ao modelo de cada usuário que o acessar, conforme apresentado na Figura 77. Os aspectos ergonômicos relacionados com o conforto perceptivo do usuário devem também ser considerados.

Um dos métodos mais populares de adaptação de conteúdo é a Explicação Adicional. Este método procura ocultar partes do conteúdo que não são relevantes para o Modelo do Usuário. Por exemplo, detalhes de baixo nível podem ser escondidos de usuários com conhecimento insuficiente para entendê-los. Em termos mais gerais, certa classe de usuários pode requerer informações adicionais especialmente preparadas para eles, que não são mostradas a outros usuários.

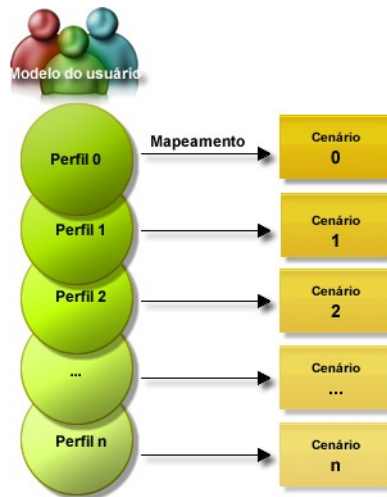


Figura 77 – Mapeamento do cenário para o usuário.

Outro método bastante interessante que pode ser desenvolvido nas aplicações correlatas desta pesquisa é a Explicação Requerida que induz uma ordenação dos conteúdos ao usuário, onde a informação apresentada em primeiro lugar é pré-requisito para a seguinte. Segundo esta idéia, ao apresentar a explicação de um conceito o sistema insere a explanação de todos os conceitos requeridos para o seu entendimento.

Existem outros métodos que podem ser desenvolvidos, tais como: a Explicação Variante e a Explicação Comparativa. O primeiro assume que mostrar ou esconder certas partes da informação nem sempre é suficiente para promover adaptação. Através deste método o sistema armazena diversas variantes para alguns dos conteúdos de um cenário e o usuário obtém a apresentação da Explicação Variante que corresponde ao seu modelo. O segundo baseia-se na similaridade existente entre dois conceitos. Se um conceito similar ao conceito que está sendo apresentado é conhecido, o usuário recebe uma explicação comparativa.

7.3.3. Navegação Adaptativa

O objetivo da Navegação Adaptativa é auxiliar o usuário a encontrar seu caminho no cenário através da adaptação ao Modelo do Usuário da forma de apresentar as ligações. Isto significa classificar, priorizar, ocultar, anotar e identificar a semântica das ligações, visando produzir meios de orientar o usuário rumo à informação desejada.

Um dos métodos bastante implementados é a Condução Global que ocorre quando os usuários possuem algum objetivo global de informação que se encontra em um ou mais ligações em algum lugar no cenário e são conduzidos pelo sistema nesta direção. O objetivo é auxiliar o usuário a encontrar o caminho mais curto para a informação que ele deseja, com

possíveis desvios minimizados. O método mais direto é oferecer a cada passo a ligação mais apropriada, ou conceitos classificados em ordem de relevância.

A Condução Local é outro método que tem o objetivo semelhante ao da Condução Global, porém com um alcance menor, ocupando-se de um único passo ao invés de todo um caminho. Deve ser reformulado a cada passo e tenta apresentar ao usuário as ligações mais relevantes para o seu Modelo do Usuário.

Uma técnica bastante simples de suporte a navegação adaptativa é a Orientação Direta. Consiste em decidir em cada ponto da navegação qual é o melhor cenário a ser visitado a seguir, levando em conta o Modelo do Usuário.

A técnica Classificação Adaptativa consiste em classificar todos os conceitos e ligações partindo de um ponto de acordo com sua relevância para o Modelo do Usuário. Apesar de bastante útil, seu uso na prática se restringe às ligações não-contextuais. Pode reduzir significativamente o tempo de navegação em sistemas de recuperação de informações.

Uma das técnicas frequentemente empregada em navegação adaptativa é a Ocultação Adaptativa. Consiste em restringir o espaço de navegação, ocultando as ligações para cenários não-relevantes. Seu uso protege o usuário da complexidade de um cenário irrestrito e reduz a sobrecarga cognitiva.

A Anotação Adaptativa possui a idéia de aumentar a informação existente nas ligações com alguma forma de anotação ou comentário que podem dizer mais sobre o estado corrente dos cenários que se conectam. Esta informação adicional pode ser oferecida sob a forma de texto ou sob a forma de indicadores visuais.

7.4. Considerações Finais

Este capítulo apresentou as características sobre diferentes técnicas que podem ser aplicadas em sistemas do contexto estudado nesta pesquisa. Inicialmente, foram mostradas as técnicas de interação, seguido pelas técnicas de visualização e por fim, as técnicas de adaptação idealizadas neste trabalho.

A Realidade Aumentada permite o uso de ações tangíveis e de operações multimodais, envolvendo voz, gestos, etc., facilitando o trabalho do usuário e incrementado suas possibilidades para a execução de suas tarefas.

O desenvolvimento de diferentes experimentos para explorar as propriedades físicas dos marcadores, para ativar diferentes ações em sistemas de Realidade Aumentada, almeja aprimorar o processo de interação e a relação entre o homem e a máquina em sistemas deste âmbito.

Capítulo 8

Sistema Adaptativo para Visualização de Informações com Realidade Aumentada

O objetivo deste capítulo é apresentar os resultados e limitações do sistema proposto que foram identificados através de um estudo de caso. Inicialmente, descreve-se o estudo de caso efetuado nesta pesquisa e suas principais características. Em seguida, são apresentados os relatos de experimentos concebidos a partir do estudo de caso. Por fim, são apresentados os resultados, limitações e considerações deste estudo.

8.1. Estudo de caso

O domínio da aplicação do estudo de caso corresponde a um sistema para visualizar informações do setor rural, mais especificamente de uma fazenda.

O sistema desenvolvido é capaz de identificar o interesse do usuário e adequá-lo a um perfil dentre três categorias disponíveis: Agricultura, Pecuária e Gerenciamento Rural. O sistema possui um cenário principal, a partir do qual o usuário pode escolher a categoria desejada e aprofundar-se nas informações ali disponíveis.

Neste experimento, foi utilizado um conjunto de dados, contendo informações obtidas a partir de uma entrevista com um engenheiro agrícola, sobre casos reais relacionados às experiências diárias adquiridas no gerenciamento de uma fazenda. A versão utilizada possui 21 tabelas multidimensionais, que correspondem às informações importadas no sistema.

A Figura 78 apresenta um exemplo semelhante à estrutura de informação desenvolvida no experimento. A maneira de apresentar uma informação é alterada em cada nível desta estrutura, sendo possível adaptá-la de acordo com o perfil do usuário. As informações são apresentadas em diferentes níveis de conhecimento do mesmo, onde a linha tracejada em vermelho apresenta a estrutura adaptada que pode ser mostrada ao usuário. Sendo assim, a estrutura se adapta ao seu perfil do usuário, de acordo com suas preferências.

As informações apresentadas ao usuário podem ser visualizadas por meio de gráficos de colunas ou linhas, tradicionalmente usados em planilhas eletrônicas. A preferência quanto à técnica utilizada também é considerada. O sistema desenvolvido, apresentado a seguir,

suporta a visualização de informações por meio de técnicas adaptativas e princípios de Realidade Aumentada, sendo denominado de SAVIRA: Sistema Adaptativo para Visualização de Informações com Realidade Aumentada.

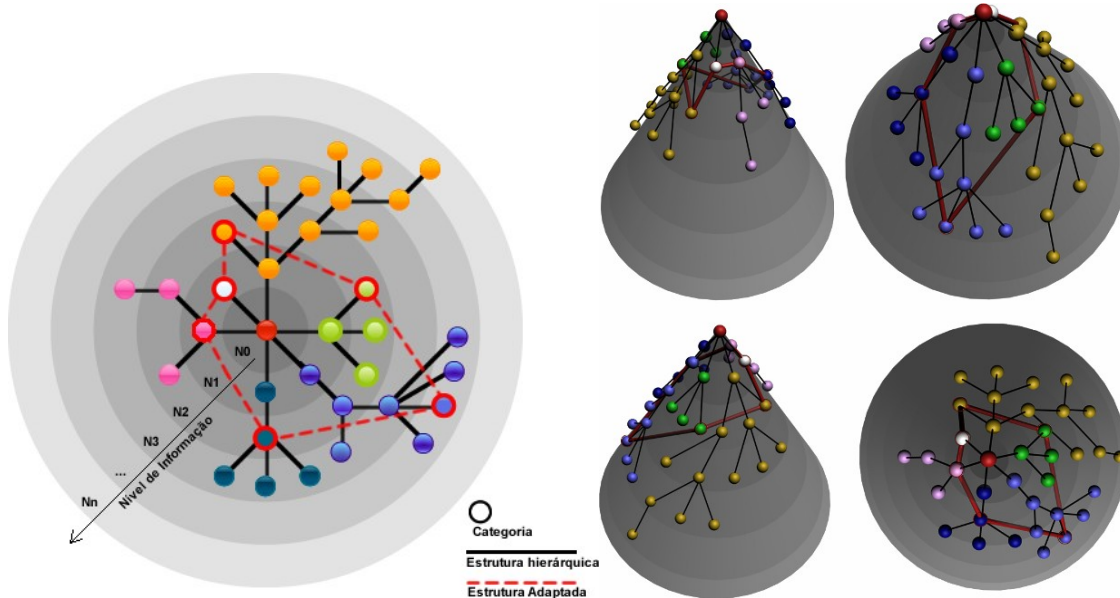


Figura 78 – Nível de informação adaptado.

8.1.1. O Sistema SAVIRA

Ao inicializar o sistema pode-se para escolher entre duas opções (Figura 79): novo usuário ("New Profile") ou conexão a partir de um perfil existente ("Login Member").

```

----- PROFILE -----
< 1 > - Login Member
< 2 > - New Profile
Choice an option:
    
```

Figura 79 – Opções iniciais do sistema.

Caso a opção inicial do usuário seja efetuar um novo cadastro, será pedida uma série de informações para o mesmo, conforme apresentado na Figura 80. Essas informações compõem o Modelo do Usuário e são usadas nos acessos subsequentes do usuário no sistema.

```

----- PROFILE -----
< 1 > - Login Member
< 2 > - New Profile
Choice an option: 2
----- NEW USER -----
Login: Abel
Name: Abel Rodrigues da Fonseca
Address: Av. Augusto Calmon, 1486 - Centro, Linsaes - ES
Phone: 27 97796579
E-mail: abel@hydrirrigacoes.com.br
Website: www.hydrirrigacoes.com.br_
    
```

Figura 80 – Cadastro do usuário.

Ao término do cadastro do usuário, o sistema carrega a tela inicial da aplicação (Figura 81). Nesta tela são apresentados diversos ícones sobre um terreno representando os campos de interesse suportados pelo sistema. Também são apresentados na mesma tela ícones referentes às funcionalidades do sistema em uma barra na lateral direita.

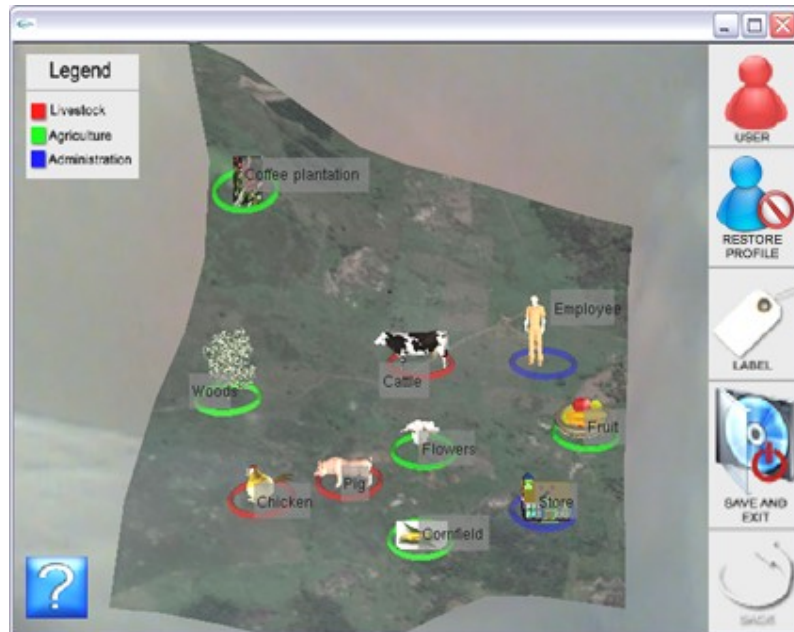


Figura 81 – Cenário inicial.

Os ícones que representam os campos de interesse desta aplicação são envolvidos por um anel vermelho, verde ou azul que representam, respectivamente, o campo da pecuária, agricultura e administração da fazenda (informação apresentada na legenda exposta na parte superior esquerda da aplicação).

Conforme descrito na Subseção 7.2.2, o nível de transparência dos anéis representam o grau de interesse do usuário sobre cada um dos campos. A princípio, os anéis apresentam-se totalmente visíveis. Na medida em que o usuário navega nos cenários, o sistema verifica seus interesses alterando o nível de transparência destes anéis. Quanto mais transparente for o anel, menor é o interesse do usuário por um determinado campo, conforme exemplificado na Figura 82. A Figura 82 (a) apresenta os anéis no estado inicial da aplicação (interesses iguais). Após o usuário realizar algumas interações no sistema, o sistema calcula a probabilidade do grau de interesse do usuário em relação às áreas impostas na aplicação e atualiza os ícones. Pode-se implementar outras técnicas para visualizar o grau de interesse de um determinado usuário, como por exemplo, alterar a formato dos anéis concomitantemente com seus respectivos níveis de transparências. Na Figura 82 (b), observa-se 50% de interesse no campo da agricultura e, na Figura 82 (c) observa-se o interesse de 99.99% no campo da agricultura.

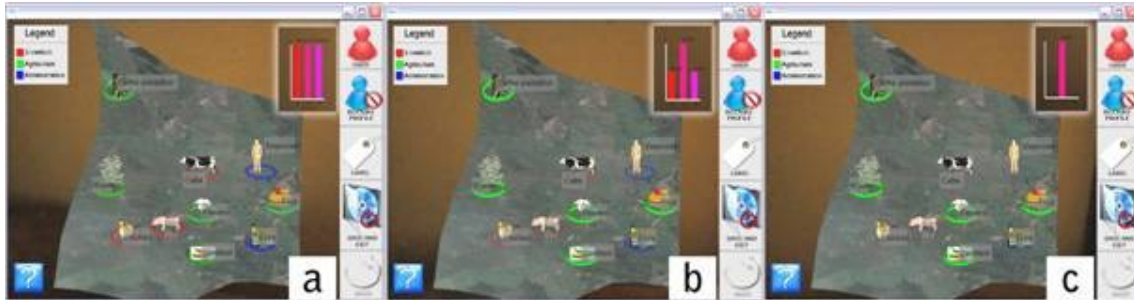


Figura 82 – Ícones adaptados ao perfil do usuário.

Os ícones referentes às funcionalidades do sistema correspondem a: Informação sobre o usuário atual (“*User*”); Restauração do perfil (“*Restore Profile*”); Ativação/Desativação dos rótulos e escolha do nível de informação (“*Label*”); Gravação da posição atual do sistema, caso for necessário sair e reiniciar as atividades posteriormente (“*Save and exit*”); Voltar à tela anterior (“*Back*”), e; Ativar o sistema de ajuda (“?”) (Tabela 10).

Tabela 10 – Ícones referentes às funcionalidades do sistema.

Ícone	Teclado	Descrição
 USER	U u	Apresenta informações sobre o usuário.
 RESTORE PROFILE	R r	Permite restaurar o perfil do usuário.
 LABEL	L l	Permite desativar ou ativar os rótulos e modificar o nível de informação.
 SAVE AND EXIT	S s	Permite salvar o ponto atual e sair do sistema.
 BACK	B b	Voltar ao cenário principal.
	H h	Ativa a opção de ajuda.

O acesso aos ícones, por parte do usuário, é feito através do teclado (digitando a tecla referente cada opção) ou através de marcadores que servem como suporte a interação com o sistema (Figura 83).

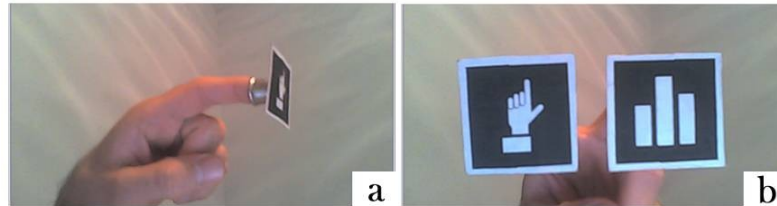


Figura 83 – Marcadores utilizados no sistema.

Dois marcadores foram usados para interagir com o sistema (Figura 83 (b)). O primeiro possui um símbolo de uma mão apontando: é utilizado para selecionar as opções no sistema. O segundo marcador possui como símbolo três barras verticais, sendo utilizado para visualizar os gráficos no sistema. Para facilitar a utilização dos mesmos, foi anexado sob cada um destes marcadores um dedal. Assim, conforme apresentado na Figura 83 (a), o usuário pode encaixá-lo em seu dedo de maneira a oferecer uma forma mais natural e intuitiva de interagir com as opções de interface do programa, quando comparado com outras técnicas tradicionais de manipulação em Realidade Aumentada.

A opção “User”, apresentada na barra lateral da aplicação, conduz o usuário a uma tela contendo suas informações (Figura 84). Nesta tela, é possível visualizar:

- a foto do usuário¹²;
- os dados cadastrados de seu perfil;
- gráficos informando o período de uso do sistema e probabilidades dos campos de interesse;
- informações sobre qual o melhor dia para o acesso;
- quantidade de vezes que acessou o sistema;
- informação sobre a data de último acesso.

¹² Esta funcionalidade só será possível caso o usuário tenha adicionado sua foto manualmente dentro do diretório “perfil” com as seguintes especificações: Arquivo extensão JPG, e; Nome do arquivo: *NúmeroDoLogin* seguido de *_photo*. Exemplo: *1_photo.jpg*. O sistema verifica os arquivos inclusos no diretório perfil e caso não encontre o arquivo de foto referente ao usuário em questão ele faz uma chamada para a foto padrão do sistema (Figura 85). A Figura 85 apresenta a tela sobre as informações do usuário Abel. Agradece-se a colaboração do Eng. Agrícola Abel pela participação imprescindível nesta pesquisa e pela autorização da divulgação de sua foto e dados pessoais neste documento.

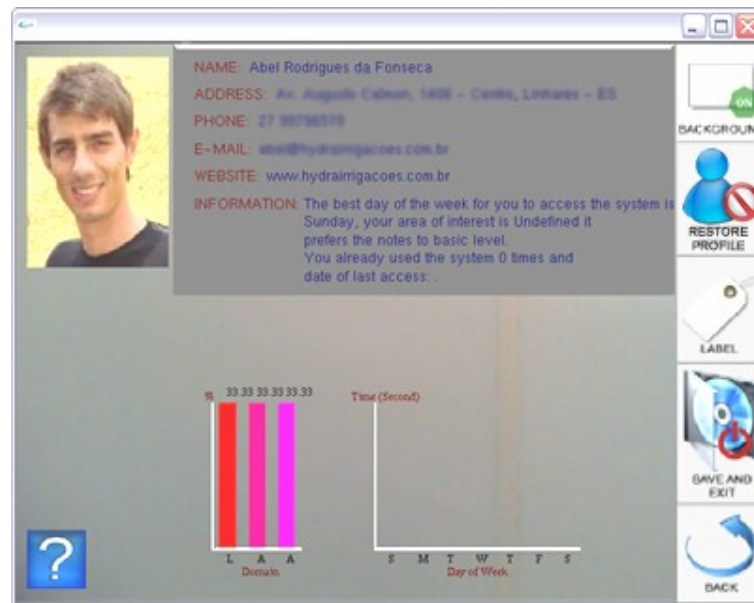


Figura 84 – Informações sobre o usuário.

Na Figura 84, observa-se abaixo das informações do usuário um quadro cinza que foi adicionado a partir da necessidade dos usuários que apresentaram dificuldades para ler as informações apresentadas. Este quadro pode ser retirado (Figura 85) sobrepondo o marcador, responsável pela interação na aplicação, ao ícone “Background” localizado na parte superior da barra de funcionalidades do sistema.

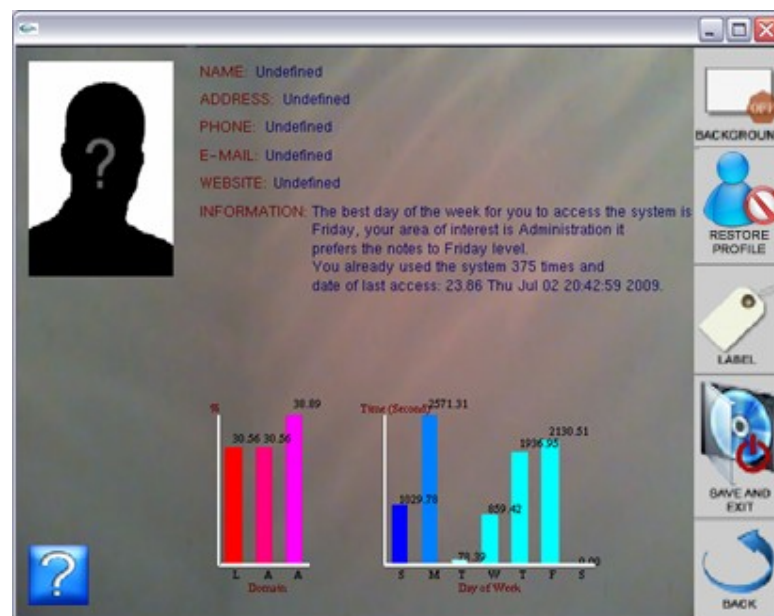


Figura 85 – Foto do perfil não encontrada (Usuário Undefined).

A opção “Restore Profile” permite reiniciar o perfil do usuário, alterando suas informações com valores iniciais do sistema. Esta ação requer um certo cuidado, pois implica

na perda das informações sobre o histórico e preferências do usuário ativo. A fim de evitar a execução acidental desta opção, construiu-se uma janela para alertar e solicitar ao usuário a confirmação da ação pretendida (Figura 86). Para a confirmação da ação, o usuário deve posicionar o marcador referente à interação do sistema sobre o botão desejado e aguardar um período de dois segundos para que seja selecionada sua opção.



Figura 86 – Janela para confirmação da ação.

A opção “*Label*”, apresentada na barra lateral da aplicação, permite desativar/ativar as etiquetas em torno dos ícones (Figura 87) e definir o nível de detalhe da visualização em três graus: Básico, intermediário e avançado. O cenário responsável por estas ações pode ser visualizado na Figura 88.



Figura 87 – Cenário inicial com etiquetas (a) e sem etiquetas (b).

Na Figura 88, pode-se observar uma “mãozinha virtual” de cor branca localizada sobre o marcador de seleção utilizado no sistema. Ao selecionar uma determinada opção no sistema, a cor desta “mãozinha” é alterada para verde claro e imediatamente um som é acionado. Estas

ações são necessárias para ajudar o usuário a identificar o momento em que está sendo selecionada uma determinada opção. Para acessar um determinado cenário, o usuário deverá selecionar o ícone referente a ele e manter a seleção por dois segundos. O sistema se comporta desta maneira, a fim de evitar que o usuário acesse de forma indesejada os cenários.

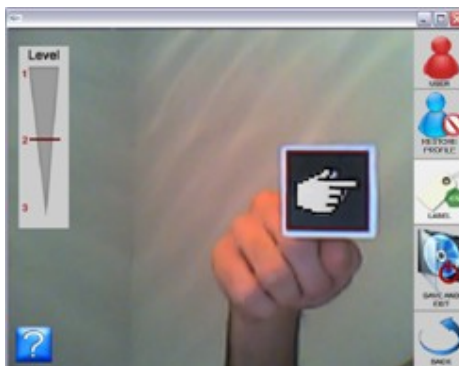


Figura 88 – Cenário para controle das etiquetas.

Após os acessos às opções de interesse, o sistema efetua os cálculos da probabilidade sobre os campos e apresenta estes resultados como um gráfico de barras na opção “User”. A Figura 85 ilustra um exemplo, onde inicialmente o interesse do usuário “Abel” era igual para os três campos (33.33%) definidos no sistema. Em um segundo momento (Figura 89), após o usuário ter navegado no sistema em seus supostos campos de interesse, a probabilidade encontra-se alterada da seguinte forma: 42.32% de interesse para o campo da pecuária, 31.84% para o campo da agropecuária e 25.84% para o campo da administração rural.

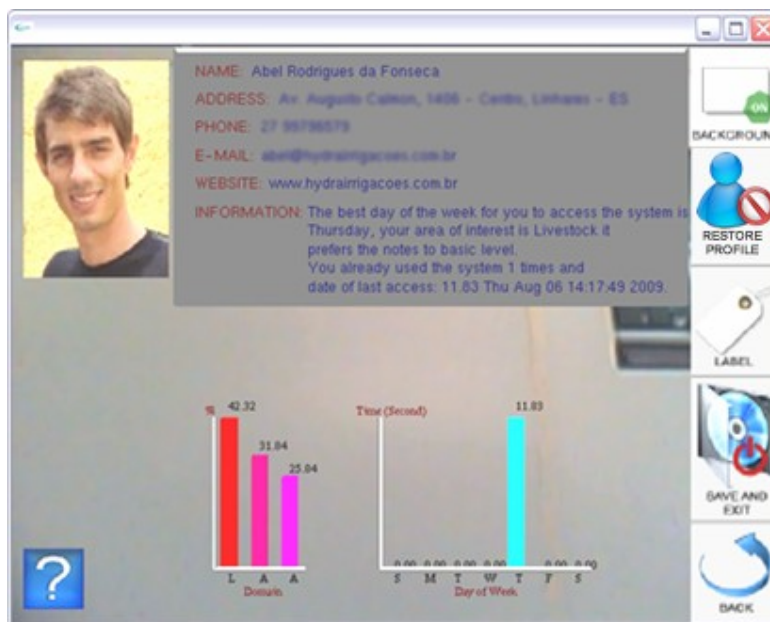


Figura 89 – Informações modificadas sobre o usuário.

A opção “*Save and Exit*” permite ao usuário salvar a configuração atual do sistema, de forma a servir de ponto inicial para as próximas vezes que o mesmo acessar o sistema. Esta opção também é muito útil para situações, onde o usuário esteja utilizando o sistema e seja obrigado a descontinuar suas atividades. Ao sair do sistema utilizando esta opção, o usuário cria em seu perfil um ponto inicial no cenário ativo da aplicação, facilitando o uso no próximo acesso ao sistema.

A opção “*Back*” permite ao usuário voltar na tela inicial do sistema, sendo útil em situações onde o usuário encontra-se “perdido” no ambiente.

A opção de ajuda “?” apresenta informações sobre as opções disponíveis no cenário, explicando as suas funcionalidades incorporadas no sistema.

Os cenários que representam os campos de interesse, contendo as informações importadas no sistema, foram construídos de forma semelhante ao cenário principal. A Figura 90 apresenta um cenário contendo informações sobre a produção de carne e leite, quantidade de alimentação utilizada e quantidade de raças dos animais presentes da fazenda. Os dados para visualização podem ser selecionados, através das opções do menu superior da tela. Os interesses do usuário sobre informações, a serem visualizadas nos gráficos, são guardadas pelo sistema para uso posterior. Sendo assim, quando o usuário acessar novamente o sistema, as informações presentes já estarão adaptadas ao seu perfil.

Uma barra de rolagem foi posicionada no canto esquerdo do cenário, possibilitando aos usuários a seleção dos dados a serem visualizados nos gráficos. Com o marcador de seleção, o usuário pode selecionar os dados, que serão apresentados nos gráficos e também os que não serão apresentados. O tipo do gráfico pode ser escolhido, a partir dos dois ícones dispostos na parte inferior do cenário, sendo que a mudança dos gráficos pode ser feita opcionalmente, através do uso do recurso de comandos de voz. Basta o usuário dizer em voz alta no microfone o comando “*change chart*”, que o mesmo se altera para o gráfico seguinte.



Figura 90 – Cenário para visualizar informações utilizando gráficos de barras (a) e linhas (b).

Após criado o perfil, a próxima vez que o usuário acessar o sistema, o mesmo poderá escolher inicialmente a opção “Login Member” e selecionar o nome do usuário apropriado, conforme apresentado na Figura 91. Assim, ao inicializar a aplicação, a interface já estará adaptada às preferências do usuário selecionado (ativo) e pronta para receber as novas modificações a serem inseridas durante a interação.

```

----- PROFILE -----
< 1 > - Login Member
< 2 > - New Profile
-----

Choice an option: 1
----- USERS -----
< 0 > - Undefined
< 1 > - Ezequiel
< 2 > - AgronomoA
< 3 > - Abel
-----

Choice an option: _

```

Figura 91 – Opção para escolher o perfil do usuário no sistema.

8.2. Análise do estudo

Nesta seção, são relatados os experimentos realizados e seus respectivos resultados a fim de avaliar a estratégia e arquitetura propostas nesta tese. Inicialmente, para validar o sistema e obter soluções para o problema em estudo, foram realizados ensaios de interação de um experimento com versões não adaptadas e adaptadas do sistema e também um teste de usabilidade para apreciação do sistema. Estas tarefas foram avaliadas a partir de questionários ministrados aos usuários experimentais¹³.

Antes da realização dos experimentos, solicitou-se aos usuários a leitura e o pronunciamento acerca do termo de consentimento da divulgação pesquisa (Apêndice C).

A partir das informações obtidas através do questionário de avaliação de perfil (Apêndice D), verificou-se que nenhum estudante possuía formação superior em algum curso nas áreas de Ciências Exatas e Engenharias. Verificou-se também que todos os estudantes possuíam significativa experiência no trabalho com computadores, porém pouca ou nenhuma experiência nas áreas correlatas à pesquisa. Neste estudo, participaram 15 usuários (14 rapazes e 1 moça), com idades entre 16 e 32 anos, sendo 11 alunos da disciplina “Administração de Dados” e 4 alunos da disciplina “Projeto de Sistemas” do curso técnico em

¹³ Na abordagem proposta, emprega-se o termo usuários experimentais para designar usuários representativos e não usuários reais (especialistas no domínio). Redish (2007) enfatiza que a realização de ensaios de interação demanda a participação de usuários representativos das pessoas que usarão a interface, sobretudo, no contexto de sistemas de visualização onde é difícil garantir a participação de usuários especialistas no domínio, para realização deste tipo de teste de usabilidade.

informática com habilitação em desenvolvimento de sistemas do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo (IFSP).

8.2.1. Experimentos realizados

Nesta pesquisa, foram realizados ensaios de interação, onde os cenários¹⁴ foram utilizados com o objetivo de auxiliar os usuários experimentais a imaginar usos potenciais do sistema, além de compreender objetivos, comportamentos e situações de trabalho dos usuários reais. O Apêndice E apresenta a lista usada como roteiro, contendo as questões empregadas nos ensaios de interação.

O objetivo do ensaio de interação foi coletar a sequência de ações envolvidas na solução de cada questão proposta e também comparar os cenários observados com os possíveis cenários estimados na solução de cada questão. Dessa forma, foi possível verificar se os percursos estimados para uma possível execução da tarefa de fato ocorreram, durante a atividade praticada, ou se novos percursos poderiam ser detectados.

No momento do experimento, o grupo de estudantes recebeu orientações sobre a utilização do sistema em um período aproximadamente de 15 minutos. Após este tempo, cada usuário recebeu uma lista (Apêndice E) contendo as tarefas a serem resolvidas utilizando o sistema SAVIRA e foi também, instruído a verbalizar todas as ações realizadas e os problemas encontrados.

Os ensaios de interação foram conduzidos individualmente em laboratório, na presença de um observador, responsável por anotar os problemas de usabilidade relatados pelo usuário e observar como foi feita a interação do usuário. A partir desta observação, foi registrada a sequência de ações envolvidas na solução de cada questão nos diferentes cenários observados e também o tempo total usado na solução das mesmas. As sequências de interação e o tempo de duração também foram registrados por um programa desenvolvido e inserido no sistema SAVIRA.

¹⁴ De acordo com Preece et al. (2005) um cenário consiste de uma descrição narrativa informal, descrevendo as atividades ou tarefas humanas em uma história que permite a exploração e discussão de contextos, necessidades e requisitos. Normalmente, os cenários são gerados a fim de ajudar a explicar ou discutir objetivos do usuário e seu nível de detalhamento varia, não havendo parâmetros no que diz respeito ao quanto deve ser descrito. Eles podem ser empregados para imaginar usos em potencial, assim como, explicar objetivos, comportamentos e situações de trabalho existentes.

Após o ensaio de interação, efetuou-se o teste de usabilidade do SAVIRA que incluiu dois questionários aplicados aos usuários: o primeiro relacionado à escala de usabilidade do sistema (Apêndice F) e o segundo relacionado à eficácia do mesmo (Apêndice G).

De acordo com Oliveira et al. (2004), o questionário oferece possibilidades como focar diretamente o assunto de interesse, atingir um grande número de pessoas, reduzir o efeito invasivo do pesquisador garantindo o anonimato dos pesquisados e também, obter dados que podem ser facilmente sujeitos a descrição estatística.

Andrade (2005) alega que a satisfação do usuário na interação com o sistema e a sua utilidade são fatores decisivos a serem considerados na concepção de *software*. Estes fatores são regulados pelos padrões das normas internacionais de usabilidade (ISO/DIS 9241-11, *European Usability Support Centres*). De acordo com estas normas, a usabilidade é definida como uma medida na qual um produto pode ser usado por usuários específicos para alcançar objetivos específicos com eficácia, eficiência e satisfação em um contexto particular de uso.

Existem vários testes de usabilidade de *software*. Entre os mais conhecidos estão o QUIS (*Questionnaire for User Interface Satisfaction*) (Chin et al., 1988), o SUS (*System Usability Scale*) (Brooke, 1996), o SUMI (*Software Usability Measurement Inventory*) (Kirakowski and Corbett, 1993), o WAMMI (*Website Analysis and Measurement Inventory*) (Kirakowski et al., 1998) e o USE Questionnaire (*Usefulness, Satisfaction, and Ease of use*) (Lund, 2001).

Os testes de usabilidade permitem avaliar as características gerais dos sistemas em termos de eficácia, eficiência e satisfação da ferramenta, não apenas no que diz respeito ao funcionamento do produto e à conformidade com as normas do padrão ISO 9241-11, mas também acerca das opiniões dos usuários sobre as suas explorações no sistema.

Com relação ao primeiro questionário, (Apêndice F) que se refere à escala de usabilidade do sistema, optou-se por utilizar o teste de usabilidade SUS (*System Usability Scale*). O SUS é um teste normalizado da *Digital Equipment Corporation*, constituído por apenas 10 itens, no entanto apresenta bons resultados de fidelidade mesmo em amostras de pequena dimensão (Tullis & Stetson 2004). Além disso, o SUS é disponibilizado gratuitamente, é simples de usar e fornece, para cada questionário, uma pontuação entre 0 e 100. Cada item do SUS compreende diferentes aspectos da reação do usuário com o sistema.

O segundo questionário (Apêndice G) abordou a eficiência do sistema, fornecendo as opiniões dos usuários em relação à experiência de interação, aspectos visuais, dificuldades encontradas e sugestões para melhoria do sistema.

Na primeira parte deste questionário, usou-se uma escala de Likert¹⁵ numerados de um (discordo fortemente) a cinco (concordo fortemente) para avaliar questões relacionadas às experiências de interação e aos aspectos visuais do sistema. A segunda parte do questionário teve por objetivo identificar os pontos fracos do sistema SAVIRA, detectados pelos usuários, durante a realização dos ensaios de interação. Nesta parte, optou-se também por utilizar uma escala de Likert de cinco pontos (1-Nunca a 5-Sempre) nas questões relacionadas às dificuldades encontradas no decorrer da utilização do sistema. A última parte do questionário foi composta por questões discursivas, a fim de obter informações sobre possíveis dificuldades, erros, comentários e sugestões.

8.2.2. Resultados e limitações

Com o objetivo de verificar as ações realizadas pelos usuários na execução de uma tarefa, foram comparados os cenários observados com os cenários estimados para a solução de cada tarefa proposta. Foi possível observar que todos os usuários executaram, durante a resolução de cada tarefa, basicamente os mesmos percursos com pouquíssimas variações. Portanto, comparando os cenários observados com os respectivos cenários estimados, percebeu-se que todas as tarefas estimadas ocorreram, porém algumas em uma ordem um pouco diferente.

Os cenários observados apresentam uma tendência por parte dos usuários de utilizarem diferentes recursos, para configurar a maneira de apresentação dos dados, conforme suas preferências. O tipo de gráfico adotado por um determinado usuário geralmente foi o mesmo para a realização de todas as tarefas.

Outra questão observada foi que, durante o processo de análise das visualizações, os usuários executaram repetidas vezes o processo de adição e remoção de campos nos gráficos apresentados. Isto representou uma maneira de visualizar e explorar os dados de diferentes maneiras e perspectivas com o objetivo de compreender e solucionar as tarefas propostas.

Sendo assim, notifica-se que durante o processo de análise e exploração de dados por meio do uso de técnicas de visualização, é complicado descrever uma seqüência de ações adequadas que levem um usuário a completar com sucesso uma tarefa (Allendoerfer et al., 2005).

¹⁵ A escala de Likert (Likert, 1932) é um tipo de escala de resposta psicométrica usada comumente em questionários, e é a escala mais usada em pesquisas de opinião. Ao responderem a um questionário baseado nesta escala, os perguntados especificam seu nível de concordância com uma afirmação.

Todos os usuários que participaram dos ensaios de interação responderam os questionários a eles aplicados. A média da pontuação obtida nas pesquisas realizadas aos usuários para a escala do SUS foi de 74.66% (desvio-padrão 12.77%). Este resultado pode ser considerado satisfatório, uma vez que a pontuação da escala do SUS considera zero (0) como o valor mais baixo para o nível de usabilidade e cem (100) como o valor mais alto. Nota-se que, de maneira geral, a questão que mais prejudicou o acréscimo do nível de usabilidade do sistema foi a segunda afirmação do questionário SUS: “Eu achei o sistema complexo”.

É importante observar que uma possibilidade para justificar este resultado foi a forma como a questão foi escrita, pois pode ter sido interpretada de forma errada. O termo “complexidade” pode ter sido associado ao desenvolvimento do sistema, ao invés da utilização do mesmo. Esta observação ocorreu durante a análise de um dos questionários respondidos, onde estava escrita a palavra “desenvolvimento”, entre parênteses, ao lado da afirmação em questão. Sendo assim, pode-se concluir que o usuário compreendeu a pergunta no âmbito da complexidade de desenvolvimento ao invés da complexidade de utilização do *software*.

A Figura 92 mostra a distribuição das pontuações obtidas na escala de usabilidade do SUS.

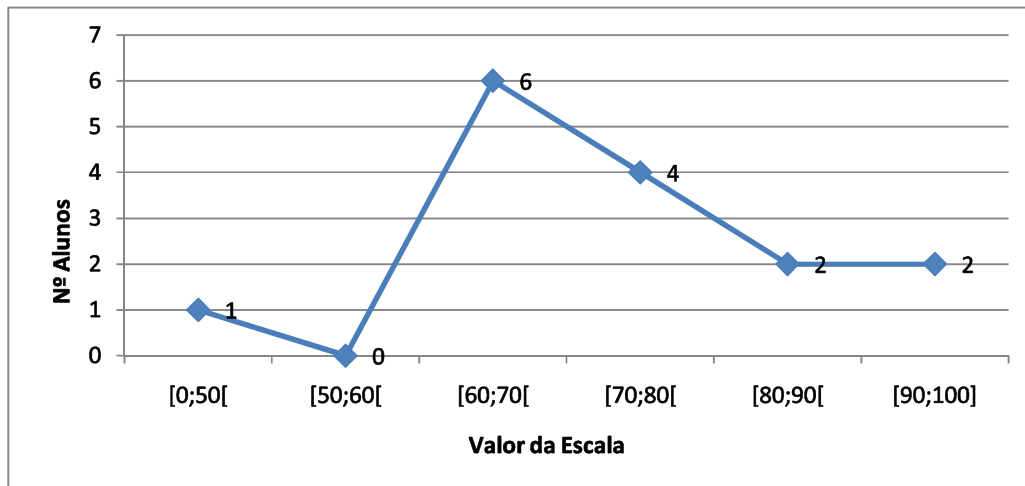


Figura 92 – Escala de Usabilidade SUS.

Em relação a experiência de interação e os aspectos visuais do sistema, conforme apresentando na Figura 93, foi possível concluir que, todos os usuários (100%) ficaram satisfeitos com a forma de interação do sistema e gostariam de utilizar novamente sistemas com a mesma abordagem.

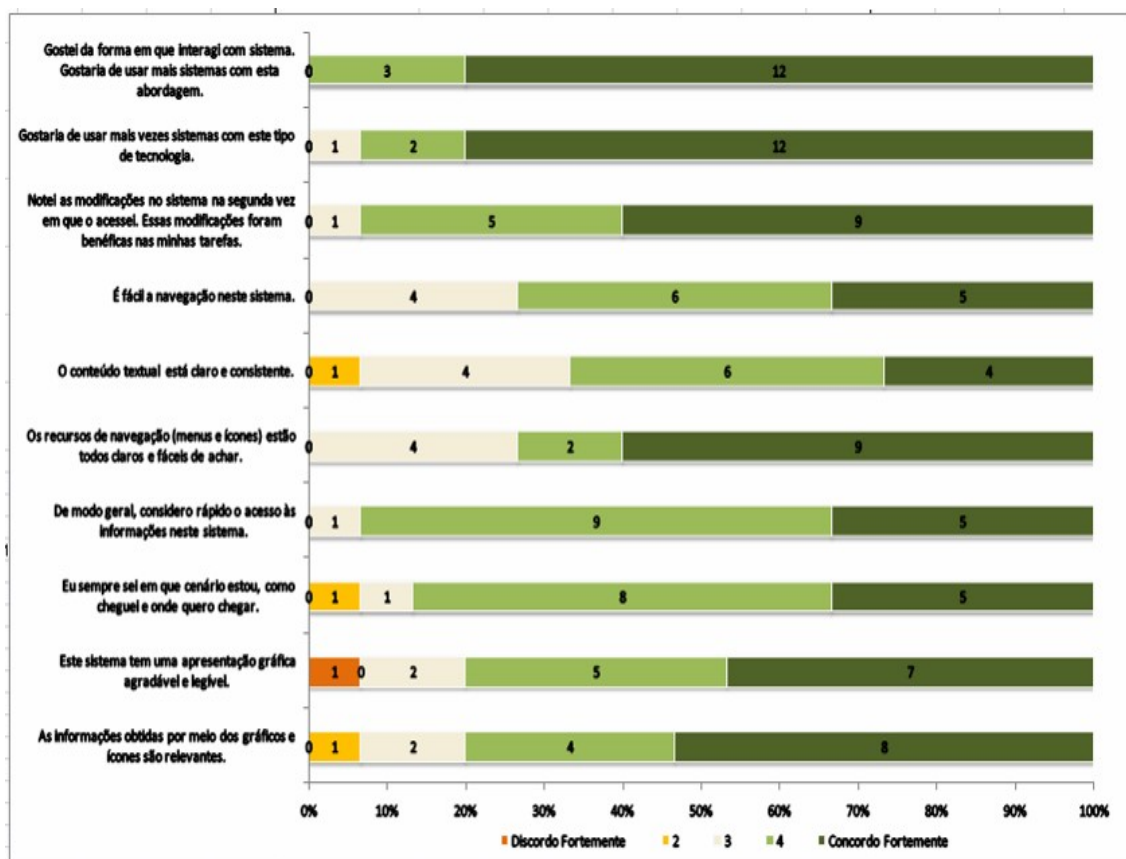


Figura 93 – Opinião dos usuários sobre a experiência de interação e os aspectos visuais do sistema.

A grande maioria dos usuários (93.33%) afirmaram ter percebido as modificações decorrentes da adaptação do sistema e, consideraram que estas modificações trouxe benefícios para a execução de suas tarefas.

Mais da metade dos usuários (73.33%) concordaram ou concordaram fortemente que a navegação no sistema é uma tarefa simples e apenas quatro (4) usuários (26.66%) permaneceram indiferentes quanto à afirmação. Embora a Realidade Aumentada permita a interação do usuário com o sistema de maneira mais natural, no início da aplicação do estudo de caso, observou-se que uma pequena parte dos usuários apresentou algumas dificuldades no uso do sistema de forma efetiva. As principais dificuldades encontradas e relatadas por alguns usuários foram relacionados à coordenação motora e à percepção de profundidade dos objetos dispostos no ambiente físico. O uso do capacete para visualizar as informações apresentadas pelo sistema poderia ter minimizado tais dificuldades encontradas pelo usuário, uma vez que o mesmo poderia focar de forma direta os objetos e marcadores, facilitando a interação dos usuários com o ambiente.

Considerando a apresentação e consistência do conteúdo textual, dez (10) usuários (66.66%) concordaram ou concordaram fortemente que este quesito está satisfatório, quatro

(4) usuários (26.66%) permaneceram indiferentes e apenas um (1) usuário (6.66%) não concordou com a afirmação. Os recursos de navegação foram considerados, de modo geral, claros e visíveis. Onze (11) usuários (73.33%) concordaram ou concordaram fortemente com a afirmação e quatro (4) usuários (26.66%) se mantiveram indiferentes neste quesito. A visualização dos textos apresentados no sistema tornou-se incompreensível, em determinados momentos, devido ao contraste dos objetos virtuais com o fundo da aplicação (ambiente real). Alguns usuários sugeriram adicionar uma tarja atrás dos textos apresentados no sistema para facilitar a visualização.

Catorze (14) usuários (93.33%) consideraram como sendo rápido o acesso às informações no sistema e apenas um (1) usuário (6.66%) permaneceu indiferente.

Praticamente nenhum usuário (86.66%) encontrou-se perdido no sistema, enquanto realizavam suas tarefas. Somente um (1) usuário (6.66%) não concordou com a afirmação e um (1) usuário (6.66%) permaneceu indiferente quanto à mesma. Notou-se que, durante o experimento, apenas um usuário acessou a opção de ajuda da aplicação, a fim de buscar informações sobre opções de acesso da aplicação. Foram feitos dois questionamentos quanto à língua escolhida para a aplicação, onde os usuários sugeriram o uso da língua portuguesa ao invés da língua inglesa. O desconhecimento da língua empregada na aplicação pode ser o fator responsável pelo usuário ter se “perdido” no sistema em algum momento da realização da tarefa.

A apresentação gráfica do sistema pode ser considerada agradável. Doze (12) usuários (80%) concordaram ou concordaram fortemente com a afirmação, dois (2) usuários (13.33%) mantiveram-se indiferentes e um (1) usuário (6.66%) discordou fortemente da afirmação. Em relação a obtenção das informações por meio dos gráficos ou ícones, doze (12) usuários (80%) concordaram ou concordaram fortemente que estas informações são relevantes, dois (2) usuários (13.33%) permaneceram indiferentes e um (1) usuário (6.66%) discordou da afirmação. Durante a execução do experimento não foram obtidas conclusões sobre as possíveis causas da rejeição deste quesito.

Os resultados obtidos nas questões da segunda parte do questionário comprovam um nível de eficácia bastante razoável da aplicação, uma vez que a maioria dos usuários nunca sentiu qualquer dificuldade na utilização da ferramenta. A Figura 94 apresenta o gráfico referente aos resultados desta parte do questionário.

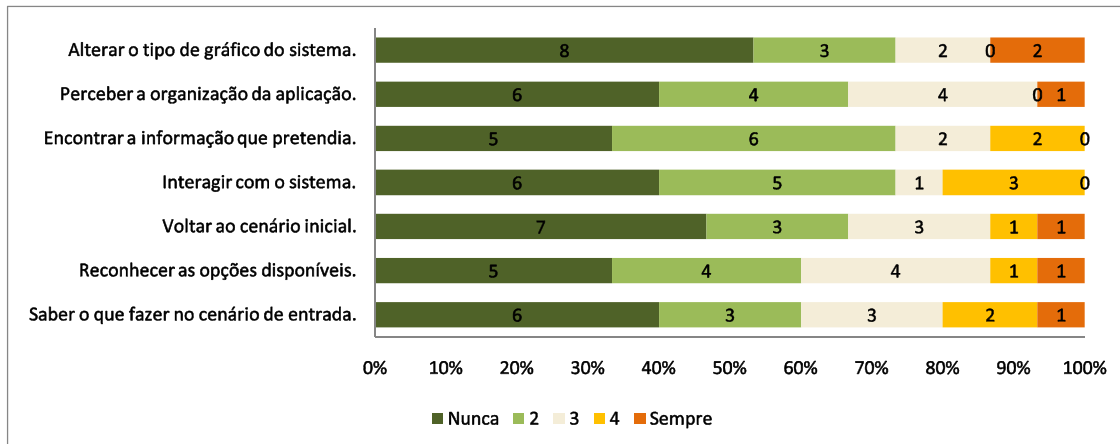


Figura 94 – Opinião dos usuários sobre as dificuldades encontradas ao utilizar o sistema.

Outro resultado observado, foi que o número de usuários que apresentaram certa dificuldade, ao utilizar o sistema, permanece de certa forma invariável para todos os quesitos. Nota-se ainda, que apesar da totalidade dos usuários apreciarem a forma que interagiram no sistema e quererem utilizar sistemas com a mesma abordagem (primeira afirmação apresentada na Figura 93), três (3) destes usuários (20%) apresentaram certas dificuldades ao interagir no sistema. Como mencionado anteriormente, no início do experimento, notou-se que uma pequena parte dos usuários apresentou certas dificuldades para conseguir usar o sistema de forma efetiva. No entanto, essas dificuldades foram desaparecendo, na medida em que eles foram interagindo com a aplicação.

Apenas alguns usuários responderam por completo as questões discursivas colocadas. Com relação à primeira pergunta: “O que você mais gostou nesta aplicação?”, as observações foram as seguintes:

- “A adaptação do sistema para o usuário e o esquema de Realidade Aumentada que é ótimo e de fácil interação”;
- “Interação com o sistema”;
- “A forma que é apresentada as informações e a tecnologia que é uma novidade muito interessante”;
- “As visualizações dos gráficos”;
- “A interface do sistema, a navegação e como todos os dados são mostrados na tela”;
- “A interação com o sistema”;
- “A interatividade de fácil utilização”;
- “Tudo, a interação com movimentos e imagem”;

- “A interação com Realidade Aumentada”;
- “A inovação de sistemas com Realidade Aumentada”;
- “Usabilidade muito fácil e visual intuitivo”;
- “O fato de ser vinculado à Realidade Aumentada”;
- “A forma de interação que o sistema possibilita ao usuário, o tipo de navegação e a forma atrativa de abordar o tema”.

A segunda pergunta foi: “Você tem algum comentário adicional sobre o sistema?”. Os comentários registrados foram os seguintes:

- “Muito bom!”;
- “É uma tecnologia interessante que poderia ser mais aplicada ao dia-a-dia, mais necessita de melhorias”;
- “Precisa ser mais rápido na execução”;
- “Sistema muito interessante, com a interação e imagem fica mais fácil de aprender”;
- “Não”.

Por fim, a última pergunta foi referente a possíveis melhorias no sistema: “Como você entende que este sistema pode ser melhorado?”. Os comentários registrados foram os seguintes:

- “Está excelente”;
- “Praticidade das ferramentas de interação (mão e o gráfico)”;
- “Ainda não estou confiante nisto”;
- “Deixando o sistema mais estável e com o *layout* mais limpo”;
- “Sim, havendo uma maior abrangência no assunto”;
- “Poderia melhorar na identificação das imagens”;
- “É difícil a leitura do que está escrito sobre o gráfico”;
- “Poderia ser colocado algo como uma tarja atrás da tela do sistema para aumentar o contraste e aparecer os objetos mais facilmente”.

Os problemas mencionados sobre estabilidade e reconhecimento no quarto e sexto comentários, respectivamente, referem efetivamente uma deficiência técnica no processo de detecção de marcadores do ARToolKit. Dificuldades com a iluminação ou até mesmo o aspecto do ambiente podem ocasionar problemas, tais como o falso positivo: quando o sistema acusa a presença de um marcador, mas ele não existe; o falso negativo: quando sistema não acusa a presença de um marcador, mas ele existe; e o problema de confusão: quando o sistema identifica um marcador que não corresponde ao apresentado no ambiente.

Com relação aos comentários sobre o *layout* mais limpo, maior abrangência no assunto, dificuldade de leitura dos textos sobre os gráficos e a adição da tarja atrás das informações, descritos no quarto, quinto, sétimo e oitavo comentários, respectivamente, pretende-se melhorar estas funcionalidades em uma versão futura do sistema através do uso de técnicas de adaptação.

Uma das principais dificuldades encontradas no desenvolvimento deste trabalho foi a necessidade do envolvimento de usuários reais (especialistas na análise e no domínio dos dados), como também, a participação de usuários experimentais, fato que demandou maior tempo para a realização das atividades previstas.

8.3. Considerações Finais

Este capítulo apresentou os resultados e limitações do sistema proposto que foram identificadas através de um estudo de caso. Inicialmente, descreveu-se o estudo de caso efetuado nesta pesquisa e suas principais características. Na sequência, foram apresentados os relatos de experimentos concebidos a partir do estudo de caso proposto. Por fim, foram apresentados os resultados, limitações e considerações deste estudo.

Os ensaios de interação permitiram fazer uma simulação de uma situação real de trabalho em laboratório, da qual participaram quinze usuários experimentais da população-alvo do sistema. Esta metodologia promoveu a participação efetiva do usuário com o sistema e permitiu revelar problemas ligados à utilização real do mesmo. Os questionários aplicados foram úteis para obter as opiniões dos usuários a respeito do sistema e avaliar a satisfação dos mesmos em relação ao sistema e à sua operação.

A análise dos resultados gerados pela aplicação do questionário e execução do ensaio de interação revelou que a hipótese principal deste trabalho é válida, ou seja, a associação de técnicas de Realidade Aumentada às técnicas de Adaptabilidade e Visualização de Informações pode proporcionar interfaces mais persuasivas e aderentes ao usuário, contribuindo com o processo de entendimento das informações disponíveis no sistema.

Considerações Finais

A Realidade Aumentada é uma área do conhecimento que oferece várias oportunidades de investigação científica e inovação tecnológica, pois é uma área que surgiu recentemente e também por oferecer, aos usuários, melhores condições de interação com aplicações computacionais, através de interfaces mais intuitivas. Os ambientes de Realidade Aumentada amplificam as capacidades das pessoas avaliarem informações tridimensionais, uma vez que flexibilizam a atuação do usuário no espaço tridimensional e permitem o uso de interações multimodais, possibilitando maior riqueza de detalhes, melhores técnicas de interação e mais desempenho (Kirner and Siscoutto, 2007).

Uma forma de potencializar as aplicações de Realidade Aumentada é associá-las a outras áreas relevantes, a fim de captar as características de cada área envolvida e desenvolver um produto final unificado com maior abrangência computacional e de melhor qualidade.

Esta tese teve como objetivo integrar as áreas de Visualização de Informações, Sistemas Adaptativos e Realidade Aumentada, propondo uma estratégia computacional para o desenvolvimento de aplicações adaptativas de Visualização de Informação com Realidade Aumentada, uma arquitetura para integrar tais aplicações e a criação de técnicas de visualização, interação e adaptação que podem ser inseridas nas aplicações do contexto. Ainda, esta tese associou métodos adaptativos à tecnologia de Realidade Aumentada e Visualização de Informações, cujo sistema foi testado com usuários experimentais para apresentar a viabilidade do uso da associação destas tecnologias.

Até o presente momento não foram encontrados na literatura pesquisas que estejam no âmbito das três áreas relacionadas, sendo este um desafio para o trabalho. A fusão destas áreas mostrou-se muito oportuna, uma vez que a Realidade Aumentada pode ser utilizada como uma tecnologia de suporte a visualização. O uso de técnicas de Visualização de Informações, adicionada a essa tecnologia, pode auxiliar na forma de apresentar as informações ao usuário. Além disso, o uso de sistemas adaptativos permite a adequação do sistema às preferências do usuário, tornando-se mais efetivo e de melhor usabilidade.

Uma das grandes vantagens da Realidade Aumentada é o envolvimento amplo de sentidos do ser humano na interação homem-máquina. Sendo assim, um dos seus principais diferenciais é o seu avançado modo de interação. A Realidade Aumentada mantém o usuário

no seu ambiente físico e transporta o ambiente virtual para seu espaço de domínio, permitindo assim, a interação do usuário com os objetos virtuais de forma natural e, na maior parte dos casos, sem necessidade de treinamento ou adaptação. Isso facilita a análise e a interação com gráficos e a exploração de aspectos cognitivos, relatados com a compreensão da informação.

O processo de desenvolver aplicações de Realidade Aumentada e agregar técnicas de Visualização de Informações permite enriquecer a informação visual apresentada ao usuário, tornando-a mais compreensível e com um maior nível de abstração. Estas técnicas, permitem transformar a informação abstrata em formas gráficas inteligíveis e manipuláveis pelo usuário.

O uso de técnicas adaptativas, em conjunto com as técnicas anteriores, no desenvolvimento de sistemas, possibilita alterar aspectos de sua estrutura, funcionalidades ou interface para acomodar as necessidades e diferenças individuais de um usuário ou de um grupo deles. Estes sistemas passam a utilizar um modelo com características dos usuários, possibilitando as seguintes funcionalidades: adaptar sua interface de acordo com o nível de conhecimento, características, dificuldades e preferências do usuário; apresentar informações ao usuário de acordo com o seu perfil; auxiliar os usuários a encontrar informações; demonstrar, de acordo o objetivo do usuário, o melhor caminho de navegação e também, aprimorar a interação homem-máquina visando atingir uma melhor usabilidade.

A Realidade Aumentada representa uma ferramenta de grande potencial, em especial, para visualizações de um grande volume de dados, devido ao fato de não impor limites de espaço para a representação dos mesmos. No estudo de caso, com o uso de capacete, por exemplo, o usuário poderia passear pelo campo e visualizar os modelos representativos no ambiente real que originou estes dados.

Para o correto funcionamento, em sistemas do âmbito deste trabalho, é necessário que objetos reais e virtuais estejam devidamente alinhados para que o usuário tenha uma completa ilusão de coexistência dos dois ambientes. Este alinhamento é chamado de registro e tem como objetivo informar o sistema sobre a posição e as dimensões de objetos reais que irão compor o cenário visualizado. Problemas relacionados ao registro podem ser constantes e um conhecimento prévio do ambiente, seja na forma de um modelo tridimensional ou planta bidimensional, bem como o uso de GPS, podem ser usados na implementação destes sistemas, que podem ser auxiliados por técnicas de Visão Computacional ou sensores de movimento e orientação.

Outro problema encontrado foi a questão do reconhecimento de marcadores (marcas responsáveis por fazer o mapeamento do objeto virtual para o cenário real), principalmente

porque exige recursos de iluminação e posicionamento de câmera e/ou observador de forma adequada. Problemas relacionados ao reconhecimento dos marcadores podem estar ligados à ambientes com iluminação inadequada (pouca ou muita iluminação) ou com a oclusão dos marcadores, quando partes do marcador são obstruídas, fazendo com que o padrão do marcador não seja reconhecido.

É importante ressaltar que nem sempre a melhor solução é o uso de ambientes tridimensionais para a visualização de dados. Em algumas situações, as informações a serem visualizadas são tão simples que uma apresentação com tais recursos pode comprometer o bom entendimento das informações.

9.1. Contribuições

O desenvolvimento desse trabalho de pesquisa buscou acrescentar conhecimentos à comunidade científica de modo a destacar as principais vantagens de cada uma das contribuições deste trabalho que foram as seguintes:

- Proposição de uma estratégia para o desenvolvimento de aplicações adaptativas de Visualização de Informação com Realidade Aumentada;
- Elaboração de uma arquitetura para integração das aplicações do contexto;
- Desenvolvimento de novas técnicas de visualização, interação e adaptação para serem implantadas nas aplicações do contexto da pesquisa; A adaptação das técnicas existentes e desenvolvimento de novas técnicas a fim de adequar os sistemas de Realidade Aumentada e Visualização de Informação aos objetivos de adaptabilidade também foram contribuições originais desta tese em relação aos demais trabalhos correlatos.
- Demonstração de que o processo de desenvolvimento de sistemas englobando técnicas de adaptabilidade, Visualização de Informação e Realidade Aumentada pode contribuir para o processo de identificação e análise das informações;
- Construção de um sistema unificado para visualizar dados do setor agrícola, a fim de validar os conceitos propostos.

9.2. Trabalhos futuros

Existem diversos aspectos que foram abordados neste trabalho podem ser estendidos, visando acrescentar novas facilidades e aumentar o desempenho das aplicações desenvolvidas. Algumas sugestões para trabalhos futuros são as seguintes:

- A implementação de novas técnicas de interação, visualização e adaptação para serem integradas às aplicações;

- Projeto e implementação de uma aplicação de suporte (interface gráfica) capaz de gerenciar aplicações adaptativas de Visualização de Informações com Realidade Aumentada;
- Adição de novos recursos de multimídia como, por exemplo, animações e sons nas aplicações do contexto;
- Melhoria do sistema de reconhecimento de voz do sistema SAVIRA;
- Realizar novos estudos de casos longitudinais, envolvendo especialistas na análise e no domínio dos dados utilizando o sistema SAVIRA, com o objetivo de verificar e aperfeiçoar fatores relacionados a adaptação e usabilidade do sistema.

Referências Bibliográficas

- Alexandre, D. S.; Tavares, J. M. R. S. (2007) Factores da Percepção Visual Humana na Visualização de Dados. CMNE 2007 - Congresso de Métodos Numéricos em Engenharia, XXVIII CILAMCE - Congresso Ibero Latino-Americano sobre Métodos Computacionais em Engenharia, Porto, PT.
- Allen, Bryce L. (1991). Cognitive research in information science: implications for design. *Annual Review of Information Science and technology*, 26, 3-37.
- Allendoerfer, K., Aluker, S., Panjwani, G., Proctor, J., Sturtz, D., Vukovic, M., and Chen, C. 2005. Adapting the Cognitive Walkthrough Method to Assess the Usability of a Knowledge Domain Visualization. In *Proceedings of the Proceedings of the 2005 IEEE Symposium on information Visualization*. INFOVIS 2005. IEEE Computer Society, Washington, DC.
- Ames, L. A.; Nadeau, R.D.; Moreland D. (1997) VRML Sourcebook - Second Edition, John Wiley & Sons, Inc - USA.
- Andrade, A. M. (2005). *Ensino a Distância e e-learning* (1.^a ed.). Instituto Educação - Universidade Católica Portuguesa.
- Aragon, C. R. and Hearst, M. A. 2005. Improving aviation safety with information visualization: a flight simulation study. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (Portland, Oregon, USA, April 02 - 07, 2005). CHI '05. ACM, New York, NY, 441-450.
- Araujo, Y. R. G. Ambientes imersivos e participativos. *Revista VIS (UnB)*, Brasília, v. ano 4,, n. 4, p. 159-171, 2005.
- Azuma, R. T. (1997) A Survey of Augmented Reality. UNC Chapel Hill, In *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*.
- Azuma, R. T., Bailliot, Y., Behringer, R., Feiner, S., Julier, S., MacIntyre, B. (2001) Recent Advances in Augmented Reality. *IEEE Computer Graphics and Applications*, v .21, n.6, p. 34-47.
- Bayyari, A. and Tudoreanu, M. E. (2006) The impact of immersive virtual reality displays on the understanding of data visualization. In *Proceedings of the ACM Symposium*

- on Virtual Reality Software and Technology (Limassol, Cyprus, November 01 - 03, 2006). VRST '06. ACM Press, New York, NY, 368-371.
- Bekenstein, J. D. (2003) Informação no universo holográfico. Scientific American 2003.
- Benyon, D. (1993) Adaptive Systems: A Solution to Usability Problems. User Modeling and User-Adapted Interaction 3:65-87.
- Bertin, J. (1977). Graphics and Graphic Information Processing. de Gruyter Press, Berlin.
- Billinghurst, M., Kato, H., Poupyrev, I. (2001) The MagicBook - Moving Seamlessly between Reality and Virtuality. Computer Graphics and Applications. 21(3), 2-4.
- Blackwell M., Nikou C., DiGioia A. M., and Kanade T., An Image Overlay system for medical data visualization, Medical Image Analysis. Volume 4, Issue 1, , March 2000, Pages 67-72.
- Bodner, R.; Chignell, M. Dynamic Hypertext: Querying and Linking. ACM Computing Surveys, Vol. 31, Nº 4, December, 1999.
- Boman, D. K. (1995) International Survey: Virtual Environment research, IEEE Computer, 28(6):57-65. Junho. 1995.
- Bowman, D., Kruijff, E., LaViola, J. and Poupyrev, I. 3D User Interfaces: Theory and Practice. Boston: Addison-Wesley, 2004.
- Brockmann, R. J.; Horton, W & Brock, K. (1989). From database to hypertext via electronic publishing: an information odyssey. In R. Barrett (ed.), The Society of Text: Hypertext, Hypermedia, and the Social Construction of Information. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press, 162-205.
- Broll, W., Lindt, I., Ohlenburg, J. Herbst, I., Wittkämper, M. and Novotny, T. (2005) An Infrastructure for Realizing Custom-Tailored Augmented Reality User Interfaces. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, v. 11, n. 6, p. 722-733.
- Brooke, J. (1996) SUS: a "quick and dirty" usability scale. In P W Jordan, B Thomas, B A Weerdmeester & A L McClelland (eds.) Usability Evaluation in Industry. London: Taylor and Francis.
- Brusilovksy, P. Methods and techniques of adaptive hypermedia. User Modeling and User-Adapted Interaction. Special issue on adaptive hypertext and hypermedia, Dordrecht, v. 6, 1996.
- Brusilovsky, P. Adaptive Hypermedia. User Modeling and User Adapted Interaction v.11 n.1 pp.87-110. Kluwer. 2001.

- Brusilovsky, Peter. Efficient techniques for Adaptive Hypermedia. In: Nicholas, C.; Mayfield, J. (Eds.). *Intelligent Hypertext: Advanced techniques for the World Wide Web*. Berlin: Springer-Verlag, 1997. p. 12-30. (Lecture Notes in Computer Science, v.1326).
- Bueno, M. A. S.; Lima, J. P. S. M.; Teichrieb, V.; Kelner, J. (2005) *Meta 3D++ - Visualização de Informações em Realidade Aumentada*. II Workshop sobre Realidade Aumentada. Unimep, Piracicaba, SP.
- Bugay, E. L. *Hipermídia Adaptativa: O Modelo AHAM-MI*. Visual Books, Florianópolis, SC. 2008.
- Buriol, T. M. and Scheer, S. (2007), “Integração de modelagem tridimensional, visualização científica e realidade virtual com aplicações em subestações de energia elétrica”, *Espaço Energia - Revista técnico-científica da área de energia*, Ed. 06, Abril de 2007. 13-23.
- Calvi, L.; De Bra, P. *AHA: An Open Adaptive Hypermedia Architecture*. Proceedings of the 2nd Workshop on Adaptive Hypertext and Hypermedia (HYPERTEXT'98), Pittsburgh, USA, 20-24 Jun, pp. 5-11, 1998.
- Card, S. K., *Information Visualization: Wings for the Mind*, Proceedings Visualization Information '95, IEEE Computer Society Press, Atlanta, 1995
- Card, S. K., MacKinlay, J. D., Shneiderman, B., and Card, M. (1999). *Readings in Information Visualization: Using Vision to Think*. Morgan Kaufmann Series in Interactive Technologies, Academic Press.
- Card, S. K., Robertson, G. G., Mackinlay, J. D., *The Information Visualizer, an Information Workspace*, Proceedings of CHI'91, 1991
- Cardoso, L. R. *Desenvolvimento do Protótipo de uma Ferramenta Hipermídia Adaptativa Aplicada à Educação*. Universidade Católica de Pelotas, 2002.
- Carmo, M. B. D. P. D. and Cunha, J. M. G. D. (2002) *Visualização de Informação Modelo Integrado para o Tratamento de Filtragem e Múltiplas Representações*. Departamento de Informática, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Lisboa, Portugal.
- Carro, R.M., Pulido, E., Rodríguez. P.: *TANGOW: a model for Internet Based Learning*. IJCELL 1-2 (2001)
- Chambers, J. M., W. S. Cleveland, et al. (1983). *Graphical Methods for Data Analysis*. Belmont, CA, Wadsworth International Group.

- Chen, C. (2005). Top 10 Unsolved Information Visualization Problems. *IEEE Computer Graphics and Applications* 25 (4), pp. 12-16.
- Chernoff, H. (1973). "The Use of Faces to Represent Points in k-Dimensional Space Graphically." *Journal of the American Statistical Association* 68(342): 361 - 368.
- Chin, J. P., Diehl, V. A. and Norman, K. L. (1988). Development of an instrument measuring user satisfaction of the human-computer interface. *Proceedings of SIGCHI '88*, (pp. 213-218), New York: ACM/SIGCHI.
- Chittaro, L. and Ranon, R. 2002. Dynamic generation of personalized VRML content: a general approach and its application to 3D e-commerce. In *Proceedings of the Seventh international Conference on 3D Web Technology*. Arizona, USA. Web3D '02. ACM, New York, NY, 145-154. 2002.
- Chittaro, L.; Ranon, R. Adding Adaptive Features to Virtual Reality Interfaces for E-Commerce. *Proceedings of AH-2000: International Conference on Adaptive Hypermedia and Adaptive Web-based Systems, Lecture Notes in Computer Science*, Springer-Verlag, Berlin, PP. 86-97. 2000.
- Claros, D.; De Haro, M., Domínguez, D., De Trazegnies, C., Urdiales, C. and Sandoval, F. (2007) Augmented Reality Visualization Interface for Biometric Wireless Sensor Networks. *Computational and Ambient Intelligence, 9th International Work-Conference on Artificial Neural Networks, IWANN 2007*, San Sebastian, Spain, June 20-22, 2007.
- Cleveland, W. S. and McGill, R. (1984). Graphical perception: Theory, experimentation and application to the development of graphical methods. *J. American Statistical Association*, 79(387):531-554.
- Da Silva, C. G. (2007) Considerações sobre o uso de Visualização de Informação no auxílio à gestão de informação. XXXIV SEMISH - Seminário Integrado de Software e Hardware. Rio de Janeiro - RJ, 2007.
- Dara-Abrams, B. P. Applying multi-intelligent adaptive hypermedia to online learning. 2002. 259 f. Tese (Doutorado) – Union Institute & University Graduate College, Los Altos-CA, 2002.
- Dastani, M. The role of visual perception in data visualization, *Journal of Visual Languages and Computing*. Vol. 13, nº 6, pp. 601-622, (2002).
- De Aragão, A. L. Utilização de aprendizado de máquina para adaptação de estruturas em hipermídia adaptativa. Dissertação de mestrado. Instituto de Ciências Matemáticas

- e de Computação - ICMC - Universidade de São Paulo (USP). São Carlos - SP. Mar. 2004.
- De Bra, P.; Aerts, Ad; Houben, Geert-Jan; Wu, Hongjing. Making General-Purpose Adaptive Hypermedia Work. In: World Conference on the WWW and Internet, 2001. Orlando, EUA. Anais. Orlando: Association for the Advancement of Computing in Education, 2001, p.117-123.
- De Bra, P.; Houben, G. J.; Wu, H. Supporting User Adaptation in Adaptive Hypermedia Applications. Online Conference and Informatiewetenschap, Rotterdam, 2000.
- De Oliveira, F. L.; Bet, S.; De Oliveira, A. L.; Nassar, S. M.; Fagundes, F. Modelo de interfaces adaptativas utilizando redes bayesianas. In: ECOINFO: Encontro de Estudantes de Informática do Tocantins. Anais do ECOINFO/EIN. UFT. Palmas, TO, 2003. p. 139-148.
- Do Nascimento, H. A. D. Visualização de Informação - Uma Abordagem Prática. XXV Congresso da Sociedade Brasileira de Computação - XXIV JAI. UNISINOS - São Leopoldo - RS 2005.
- Edmunds, A.; Morris, A., "The problem of information overload in business organizations: a review of the literature", *International Journal of Information Management*, 20, 17-28, 2000.
- Ehret, J., Ebert, A., Schuchardt, L., Steinmetz, H., Hagen, H., "Context-Adaptive Mobile Visualization and Information Management," *Visualization Conference, IEEE*, pp. 8p, 15th IEEE Visualization 2004 (VIS 2004), 2004.
- Engelhardt, M. et al. Context based educational content managements. Saitama – Japan, Mar. 2000. Dissertation (Ph degree in combined chair of information system). Saitama Univesity.
- Fairchild, K. M., Poltrock, S. E., and Furnas, G. W. SemNet: Three-dimensional graphic representation of large knowledge bases. In Guindon, R., editor, *Cognitive Science and its Applications for Human-Computer Interaction*, pages 201–233. Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, New Jersey, U.S.A. 1988.
- Fayyad, U.; Grinstein, G. G.; Wierse, A. Information Visualization in Data Mining and Knowledge Discovery. San Francisco. Academic Press, 2002.
- Fernandes, S. F.; Kienbaum, G. S.; Guimarães, L. N. F. Hipermissão Adaptativa: Um Recurso Facilitador do Processo de Ensino/Aprendizagem nos Cursos de Engenharia, In: *Virtual Educa 2003*, Miami, 2003.
- Ferreira, A. B. H. Novo dicionário eletrônico Aurélio versão 5.0. Ed. Positivo, 3ª ed., 2004.

- Fiala, M., (2005) ARTag, a fiducial marker system using digital techniques. Computer Vision and Pattern Recognition, 2005. CVPR 2005. IEEE Computer Society Conference on , vol.2, no., pp. 590-596 vol. 2, 20-25 June 2005.
- Floridi, L. (2005) Is Information Meaningful Data? Philosophy and Phenomenological Research, 2005. 351-370 p.
- Foley, J. D.; van Dam, A.; Feiner, S. K.; Hughes, J. F.; Computer Graphics: Principles and Practice in C, 2nd ed., Addison-Wesley, 1995.
- Freitas, C. M. D. S. Visualização de Informações e a Convergência de Técnicas de Computação Gráfica e Interação Humano-Computador. Jornadas de Atualização em Informática (JAI), XXVII Congresso da SBC, 2007.
- Freitas, C. M. D. S.; Chubachi, O. M.; Luzzardi, P. R. G.; Cava, R. A. Introdução à Visualização de Informação. Revista de Informática Teórica e Aplicada, v.2, p.143-158. 2001.
- Frery, A. C., Kelner, J., Moreira, J., Teichriebet, V. (2002) User satisfaction through empathy and orientation in three-dimensional worlds. CyberPsychology and Behavior Journal. United States of America. V.5, n.5, pp.451 – 459.
- Friedman, N.; Geiger, D. and Goldszmidt, M. Bayesian Network Classifiers. Machine Learning, Vol. 29, p131-163, 1997.
- Gadomski, A. M. Patterns for Conceptualization of Knowledge on Technological Systems and Human Organizations. 9th Polish-Italian-Finnish Conference on Systems Analysis and Decision Support in Economics and Technology. Poland 1993.
- Gallagher, R. S. Computer Visualization: Graphics Techniques for Engineering and Scientific Analysis. Solomon Press, CRC Press LLC. 1994.
- Germoglio, G. Fundamentos de Arquitetura de Software, Connexions Web site, 2009. Disponível em <<http://cnx.org/content/m17524/1.21/>>. Acesso em 20 Set. de 2009.
- Gomes, W. L. et al. Uma Proposta de Interação com as Mãos para Aplicações em Realidade Aumentada. II Workshop sobre Realidade Aumentada. Unimep. Piracicaba, SP; 2005.
- Grasset, R., Duenser, A., Seichter, H., and Billinghurst, M. 2007. The mixed reality book: a new multimedia reading experience. In *CHI '07 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems* (San Jose, CA, USA, April 28 - May 03, 2007). CHI '07. ACM, New York, NY, 1953-1958.

- Grinstein, G. G. and M. O. Ward (2002). Introduction to Data Visualization. Information Visualization in Data Mining and Knowledge Discovery. U. Fayyad, G. G. Grinstein and A. Wierse, Morgan Kaufmann Publishers: 21-45.
- Guimarães, M. P.; Gnecco, B. B. and Damazio, R. Ferramentas para Desenvolvimento de Aplicações de Realidade Virtual e Aumentada. In: Kirner, C.; Siscoutto, R. (Org.). Realidade Virtual e Aumentada: Conceitos, Projeto e Aplicações. 2007.
- Hartman, F.R.; Cooper, B.; Leger, C.; Maxwell, S.; Wright, J.; Yen, J., "Data visualization for effective rover sequencing," Systems, Man and Cybernetics, 2005 IEEE International Conference on , vol.2, no., pp. 1378-1383 Vol. 2, 10-12 Oct. 2005.
- Hashimoto, Y., Nagaya, N., Kojima, M., Miyajima, S., Ohtaki, J., Yamamoto, A., Mitani, T., Inami, M. Straw-like User Interface: Virtual Experience of the Sensation of Drinking Using a Straw, Proc. of the 2006 ACM SIGCHI Int'l Conf. on Advances in Comp. Entertainment Tech (ACE '06), 2006.
- Hedley, N. R., Billinghamurst, M., Postner, L., May, R., and Kato, H. 2002. Explorations in the use of augmented reality for geographic visualization. Presence: Teleoper. Virtual Environ. 11, 2 (Apr. 2002), 119-133.
- Herman, I.; Melançon, G.; Marshall, M. S. Graph Visualization and Navigation in Information Visualization: a Survey. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, vol. 6, no. 1, pp. 24-43, January-March 2000.
- Hoffman, P. E.; Grinstein, G. G.; Marx, K.; Grosse, I.; Stanley, E. DNA Visual and Analytic Data Mining. In: IEEE Symposium on Information Visualization, INFOVIS, p. 437-441, 1997.
- Hoffman, P. E.; Grinstein, G. G.; Pinkney, D. Dimensional Anchors: A Graphic Primitive for Multidimensional Multivariate Information Visualizations. New York: ACM Press, 2000.
- Houaiss, A. and M. D. S. Villar. (2001) Dicionário Houaiss da Língua Portuguesa. Dicionário Houaiss da Língua Portuguesa. Objetiva. Rio de Janeiro - RJ: 2925 p. 2001.
- Inselberg, A. and B. Dimsdale (1990). Parallel Coordinates: A Tool for Visualizing Multidimensional Geometry. IEEE Visualization, IEEE Computer Press.
- Inselberg, A. The Plane with Parallel Coordinates. The Visual Computer. New York, v. 1, p. 69-91, 1985.
- Isakowitz, T.; Stohr, E. A.; Balasubramanian, P. RMM: a Methodology for Structures Hypermedia Design. Communications of ACM, Vol. 38, Nº8, pp. 34-44, Agosto, 1995.

- Ishii, H. and Ullmer, B. (1997). "Tangible Bits: Towards Seamless Interfaces between People, Bits and Atoms". Proc. ACM Computer Human Interaction Conf. (CHI '97), 1997.
- Johnson, J. ROI, It's your job. Published Keynote Third International Conference on Extreme Programming, Alghero, Italy, May 26-29, 2002.
- Kandogan, E. (2000). Star Coordinates: A Multi-dimensional Visualization Technique with Uniform Treatment of Dimensions. IEEE Symposium on Information Visualization 2000, Salt Lake City, Utah.
- Kato, H.; Billinghurst, M.; Poupyrev, I. (2000) ARToolKit version 2.33 Manual, Novembro.
- Keim, D. A. (2002). "Information Visualization and Visual Data Mining." IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics 8(1):1-8.
- Keim, D. A. and H. P. Kriegel (1994). "VisDB: Database Exploration Using Multidimensional Visualization." IEEE Computer Graphics and Application 14(5): 16-19.
- Keim, D. A. Visual Database Exploration Techniques. In: International Conference in Knowledge Discovery and Data Mining, KDD. Newport Beach, CA, 1997.
- King, G.R. Piekarski, W. Thomas, B.H. ARVino - outdoor augmented reality visualisation of viticulture GIS data. Mixed and Augmented Reality, 2005. Proceedings. Fourth IEEE and ACM International Symposium on. Wearable Comput. Lab., South Australia Univ., Mawson Lakes, SA, Australia, 2005.
- Kirakowski, J. and Corbett, M. (1993). SUMI: the software usability measurement inventory. British Journal of Educational Technology, 24, 210-214.
- Kirakowski, J., Claridge, N., and Whitehead, R. (1998). Human centered measures of success in web site design. Proceedings of the Fourth Conference on Human Factors and the Web.
- Kirner, C. (1997) Virtual Environment for Shared Interactive Visualization. In: IV Workshop on Information Technology Cooperative Research with Industrial Partners between Germany and Brazil. Proceedings of the 4th Workshop on Information Technology Cooperative Research with Industrial Partners between Germany and Brazil. Porto Alegre - RS.
- Kirner, C. (2003) Realidade Virtual: Dispositivos e Aplicações. Disponível em: http://www.realidadevirtual.com.br/publicacoes/apostila_rv_disp_aplicacoes/apostila_rv.html. Acesso em 20 fev. de 2007.
- Kirner, C. and Kirner, T. G. (2006) A Data Visualization Virtual Environment Supported by Augmented Reality. 2006 IEEE International Conference on Systems, Man, and

- Cybernetics. Taipei: Proceedings of 2006 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics. 1-6 p.
- Kirner, C. and Kirner, T. G. (2007) Virtual Reality and Augmented Reality Applied to Simulation Visualization. In: El Sheikh, A.A.R.; Al Ajeeli, A.; Abu-Taieh, E.M.O.. (Org.). Simulation and Modeling: Current Technologies and Applications. 1 ed. Hershey-NY: IGI Publishing, 2007, v. 1, p. 391-419.
- Kirner, C. and Siscoutto, R. Realidade Virtual e Aumentada: Conceitos, Projeto e Aplicações. Editora SBC – Sociedade Brasileira de Computação, Porto Alegre, 2007. Livro do pré-simpósio, IX Symposium on Virtual and Augmented Reality, Petrópolis – RJ, 2007.
- Kirner, C. and Tori, R. (2004) Introdução à Realidade Virtual, Realidade Misturada e Hiper-realidade. In: (Ed.). Realidade Virtual: Conceitos, Tecnologia e Tendências. São Paulo - SP. Introdução à Realidade Virtual, Realidade Misturada e Hiper-realidade, p.3-20
- Kirner, C.; Zorzal, E. R. Aplicações Educacionais em Ambientes Colaborativos Realidade Aumentada. XVI SBIE2005 – Simpósio Brasileiro de Informática na Educação, UFJF, Juiz de Fora, MG. 2005.
- Kirner, T. G.; Salvador, V. F. M.; Desenvolvimento de Ambientes Virtuais. In: Kirner, C.; Siscoutto, R. (Org.). Realidade Virtual e Aumentada: Conceitos, Projeto e Aplicações. 2007.
- Knoerlein, B., Székely, G., and Harders, M. 2007. Visuo-haptic collaborative augmented reality ping-pong. In *Proceedings of the international Conference on Advances in Computer Entertainment Technology* (Salzburg, Austria, June 13 - 15, 2007). ACE '07, vol. 203. ACM, New York, NY, 91-94.
- Kobsa, A. Generic User Modeling Systems. In: User Modeling and User Adapted Interaction v.11 n.1 pp.49-63. Kluwer. Amsterdam, 2001.
- Koch, N. Software Engineering for Adaptive Hypermedia Systems: Reference Model, Modeling Techniques and Development Process. 355 f. Tese (Doutorado em Informática) - Ludwig-Maximilians-Universität München. 2000.
- Le, H. e B. Wannamaker. (2002) Visible Human Explorer CODATA 2002: Frontiers of Scientific and Technical Data. Montréal, Canada 2002.
- LeBlanc, J., M. O. Ward, et al. (1990) Exploring N-Dimensional Databases. Proc. IEEE Visualization'90, San Francisco, CA.

- Leitão, A. C. Um survey sobre sistemas adaptativos com enfoque nas interfaces adaptativas. 2003. 67f. Monografia (Bacharel em Sistemas de Informação) - Faculdade Integrada do Recife. Recife.
- Likert, Rensis (1932). "A Technique for the Measurement of Attitudes". *Archives of Psychology* 140: 1–55.
- Loinaz, M. U. Sistemas Inteligentes em el ámbito de la Educación. 2001. Disponível em: <<http://aepia.dsic.upv.es/revista/numeros/12/Urretavizcaya.pdf>> Acesso em: 27 de jul. de 2008.
- Loosea, J.; Grasset, R.; Seichter, H.; Lamb, P. Osgart toolkit for openscenegraph. Disponível em : <http://www.artoolworks.com/community/osgart>. Acesso em: 01 jun. 2008.
- Lund, A. M. (2001) Measuring usability with the USE questionnaire. *Usability Interface*, 8 (2), 3-6.
- Macías, J. A.; Castells, P. In: Ortega, M.; Bravo, J. (Ed). *Interactive Design of Adaptive Courses. Computers and Education – Towards an Interconnected Society*. Dordrecht: Kluwer, 2001. p.235-242.
- MacIntyre, B., Gandy, M., Dow, S., and Bolter, J. D. (2004). DART: a toolkit for rapid design exploration of augmented reality experiences. In *Proceedings of the 17th Annual ACM Symposium on User interface Software and Technology* (Santa Fe, NM, USA, October 24 - 27, 2004). *UIST '04*. ACM, New York, NY, 197-206.
- Mackinlay, J. (1988), Applying a theory of graphical presentation to the graphic design of user interfaces, *Symposium on User Interface Software and Technology, Proceedings of the 1st annual ACM SIGGRAPH symposium on User Interface Software*, pp. 179-189, 1988.
- Mackinlay, J. D. (1986). Automating the Design of Graphical Presentations of Relational Information. *ACM Transactions on Graphics*, 5 (2, April), 110-141.
- Mackinlay, J. D., Robertson, G. G., Card, S. K., *The Perspective Wall: Detail and Context Smoothly Integrated*, *Proceedings of ACM CHI'91*, 1991
- Mackinlay, J.D., "Opportunities for information visualization," *Computer Graphics and Applications, IEEE* , vol.20, no.1, pp.22-23, Jan/Feb 2000.
- Malkawi A. M., and Srinivasan R. S., A new paradigm for Human-Building Interaction: the use of CFD and Augmented Reality, *Automation in Construction* Volume 14, Issue 1, January 2005, Pages 71-84.

- Martins, V. F. (2000) Processo de Desenvolvimento de Ambientes e Aplicações de Realidade Virtual. Dissertação de Mestrado (Ciência da Computação). Universidade Federal de São Carlos.
- Maynes-Aminzade, D. Edible Bits: Seamless Interfaces Between People, Data, and Food, ACM CHI 2005 Extended Abstracts, 2207-2210.
- McCormick, B. H., Defanti, T. A., Brown, M. D. Visualization in Scientific Computing. Computer Graphics (edição especial), v. 21, n. 6, 1987.
- Meiguins, B. S., do Carmo, R. M., Almeida, L., Gonçalves, A. S., Pinheiro, S. C., de Brito Garcia, M., and Godinho, P. I. 2006. Multidimensional information visualization using augmented reality. In *Proceedings of the 2006 ACM international Conference on Virtual Reality Continuum and Its Applications* (Hong Kong, China). VRCIA '06. ACM, New York, NY, 391-394.
- Milgram, P.; Takemura, H.; Utsumi, A. and Kishino, F. (1994) Augmented Reality: A Class of Displays on the Reality-Virtuality Continuum. Telemanipulator and Telepresence Technologies, SPIE, V.2351, 1994.
- Monard, M. C.; Batista, G. E. A. P. A.; Kawamoto, S.; Pugliesi, J. B. Uma Introdução ao aprendizado simbólico de máquina por exemplos. São Paulo: Universidade de São Paulo, out. 1997. Notas do ICMC, Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação.
- Moore, K. VRML and java for interactive 3D cartography. In: Cartwright, W.; Peterson, M. P.; Gartner, G. Multimedia Cartography. [S. l.]: Springer, 1999. 343 p., p.205-216.
- Mynatt, E. D., Back, M., Want, R., and Frederick, R. 1997. Audio aura: light-weight audio augmented reality. In *Proceedings of the 10th Annual ACM Symposium on User interface Software and Technology* (Banff, Alberta, Canada, October 14 - 17, 1997). UIST '97. ACM, New York, NY, 211-212.
- Nakamoto T. and Min, P.H.D. Improvement of Olfactory Display Using Solenoid Valves, Proc. of IEEE Virtual Reality 2007, 179-186.
- NetCoach. Mantida pela ORBIS. Ferramenta para desenvolvimento de SHA. Disponível em: <<http://www.net-coach.de>>. Acesso em: 10 jul. 2005.
- Oliveira, F. L. et al. Modelo de interfaces adaptativas utilizando redes bayesianas. In: Anais do V Encontro de Estudantes de Informática do Tocantins. Palmas. TO. Out. 2003.
- Palazzo, L. A. M. Modelos Proativos para Hipermissão Adaptativa. 2000. Tese (Doutorado em Computação). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

- Palazzo, L. A. M. Sistemas de hipermídia adaptativa. Disponível em: <<http://ia.ucpel.tche.br/~lpalazzo/sha/>>. Acesso em 07 de abril de 2009.
- Papatheodorou, C. Machine Learning in User Modeling. Machine Learning and Applications. Lecture Notes in Artificial Intelligence. Springer Verlag, 2001.
- Pickett, R. M. and G. G. Grinstein (1988). Iconographic Display for Visualizing Multimensional Data. IEEE Conf. on Systems, Man and Cybernetics, Piscataway, NJ, IEEE Press.
- Piekarski, W. and Thomas, B. H. 2002. The Tinmith system: demonstrating new techniques for mobile augmented reality modelling. In *Proceedings of the Third Australasian Conference on User interfaces - Volume 7* (Melbourne, Victoria, Australia). ACM International Conference Proceeding Series, vol. 20. Australian Computer Society, Darlinghurst, Australia, 61-70.
- Pillat, R. M. Coordenação Dinâmica de Visualizações de Dados Multidimensionais. 2006. 106 f. Dissertação (Mestrado em Computação) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.
- Preece, J. et al. Design de interação: além da interação homem-computador. Porto Alegre: Bookman, 2005.
- Puerta, A.R. State-of-the-art in intelligent user interfaces research. Journal Editorial - Special issue on Intelligent User Interfaces. Knowledge-Based Systems, v.10 n.5, p. 263-264, 1998.
- Ramp, E., De Bra, P., Brusilovsky, P., "Authoring and Delivery of Adaptive Electronic Textbooks made Easy". Proceedings of the AACE ELearn'2005 Conference, pp. 142-149, Vancouver, Canada, October 2005.
- Raskar, R., Welch, G., Low, K. L. and Bandyopadhyay, D. Shader Lamps: Animating real objects with image-based illumination, In proceedings of Eurographics Rendering Workshop, pp. 89-102, 2001.
- Redish, J. Expanding Usability Testing to Evaluate Complex Systems. Journal of Usability Studies, Bloomington, IL, v. 2, n. 3, p. 102-111, May 2007.
- Risch, J. S., Rex, D.B., Dowson, S. T., Walters, T. B., May, R. A., Moon, B. D., The STARLIGHT Information Visualization Systems, Proceedings 1997 IEEE Conference on Information Visualization - IV'97, London, England, 27-29 Ag. 1997
- Robertson, G. G., Mackinlay, J. D., and Card, S. K. Cone trees: Animated 3D visualizations of hierarchical information. In Robertson, S. P., Olson, G. M., and Olson, J. S.,

- editors, Proc. ACM Conf. Human Factors in Computing Systems, CHI, pages 189–194. ACM Press. 1991.
- Rosatelli, M. C. e Tedesco, P. A. Diagnosticando o Usuário para Criação de Sistemas Personalizáveis. In: Anais do XXIII Congresso da SBC - III Jornada de MCIA Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, v vol. VIII, 2003, p.153-201
- San, I. Revista Super Interessante. Do banquete à migalha. São Paulo, março, 2008, p. 42. 2008.
- Santin, R., Kirner, C., Garbin, T. R., Dainese, C. A. (2004) Ações interativas em Ambientes de Realidade Aumentada com ARToolKit. Proc. of VII Symposium on Virtual Reality, SP, outubro de 2004.
- Santos, C. T.; Osório, F. S. An Intelligent and Adaptive Virtual Environment and its Application in Distance Learning. Advanced Visual Interfaces, Gallipoli, Italy, May, ACM Press. 2004.
- Scapin, D.L., 1990. Organizing human factors knowledge for the evaluation and design of interfaces. International Journal of Human-Computer Interaction 2, 203-229.
- Schimiguel, J. (2002) Interface 3D de Aplicações SIG como Espaço de Comunicação, Dissertação de mestrado, IC. Unicamp.
- Schmalsteig, D., Fuhrmann, A., Szalavari, Z., Gervautz, M., (1996) Studierstube – An Environment for Collaboration in Augmented Reality, CVE '96 Workshop, 1996.
- Silva, P. E. C.; Da Silva, P. F. P. Interfaces Adaptativas Aplicadas a Sistemas de Informação - Características Desejáveis. Revista Abstração. Ano 4. Ed. 2. Florianópolis – SC, Nov. 2007.
- Silva, R. L. S. Introduction to Augmented Reality. September 2003. Disponível em: <http://virtual01.lncc.br/~rodrigo/links/AR/>. Acesso em 01 de maio de 2005.
- Silva, R. L. S., Rodrigues, P. S., Oliveira, J. C., Giralddi, G. Augmented Reality for Scientific Visualization: Bringing DataSets inside the RealWorld. LNCC–National Laboratory for Scientific Computing, Petropolis , RJ, Brazil, 2004.
- Sinclair, P. A., Martinez, K., Millard, D. E., and Weal, M. J. 2003. Augmented reality as an interface to adaptive hypermedia systems. Hypermedia 9, 1 (Jan. 2003), 117-136.
- Sommerville, I. Engenharia de Software, 8ª Edição (Tradução). Pearson Addison – Wesley, São Paulo, SP, 2007.
- Souza Junior, R. D., B. S. Meiguins e M. Ribeiro Filho. Ferramenta Colaborativa para Visualização Tridimensional de Dados. VIII Symposium on Virtual Reality. Belém - PA 2006.

- Staff, Christopher: (1997) HyperContext: Using Context in Adaptive Hypertext. Disponível em <http://www.cs.um.edu.mt/~cstaff/HCTBrazil97/HCT97.html>. Acesso em 02 de abril de 2009.
- Stevens, S.S. (1946). On the theory of scales of measurement. *Science* 103: 677–680.
- Suthaul, T., Vetter, M., Hassenpflug, P., Meinzer, H., Hellwich, O. A Concept Work for Augmented Reality Visualisation Based on a Medical Application in Liver Surgery, ISPRS Commission V Symposium, Berlin, 2002.
- Systems, F. I. 3D ACTIVE CHART. Disponível em: <http://www.rinvoice.com/activechart.htm>. Acesso em 27 de fev. de 2004.
- Tori R., Kirner C., Siscoutto R. Livro do Pré-Simpósio. Fundamentos e Tecnologia de Realidade Virtual e Aumentada. Editora SBC, VIII Symposium on Virtual Reality. Belém - PA. 2006.
- Trella, Mónica; Carmona, Cristina; Conejo, Ricardo. MEDEA: an Open Service-Based Learning Platform for Developing Intelligent Educational Systems for the Web. In: Workshop on Adaptive Systems for Web-Based Education: Tools and reusability, 2005, Amsterdam, Holanda.
- Truyenque, M. A. Q. (2005) Uma Aplicação de Visão Computacional que Utiliza Gestos da Mão para interagir com o Computador. Rio de Janeiro, 2005. 100p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Informática, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.
- Tsuchimoto, T. and Nikishkov, G. P. 2006. Augmented-Reality Visualization of Tissue Stiffness Data. In Proceedings of the international Conference on Medical information Visualisation--Biomedical Visualisation (July 05 - 07, 2006). MEDIVIS. IEEE Computer Society, Washington, DC, 59-64.
- Tufte, E. R. *The Visual Display of Quantitative Information*. Graphics Press. 1983.
- Tullis, T. S., & Stetson, J. N. (2004). *A Comparison of Questionnaires for Assessing Website Usability*. Artigo apresentado na Usability Professionals' Association - UPA 2004, Minneapolis, Minnesota.
- Type, Type 2.0 MultiLingual, free version. Disponível em: <http://www.type.com/> . Acesso em 02 de abril de 2009.
- Valiati, E. R. A. Avaliação de Usabilidade de Técnicas de Visualização de Informações Multidimensionais. 2008. 219 f. Tese (Doutorado em Computação) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

- Viccari, R. M.; Giraffa, L. M. M. (2003) Fundamentos dos Sistemas Tutores Inteligentes. In: Barone, D. (Org.). Sociedades Artificiais: A Nova Fronteira da Inteligência nas Máquinas. Porto Alegre: Bookman, p. 155-208.
- Vicentini, W. V., Soares, S.B.C., Vicentini, P.C.B ; Dimario, C. J. K. ; Araujo, E.M ; Silva, C.P. . Realidade Aumentada: Interface Computacional de Geração de Ambientes Virtuais de Aprendizagem para Portadores de Necessidades Especiais (Surdos e Mudos). In: XIV Seminário Nacional de Bibliotecas Universitárias, 2006, Salvador-BA. Anais do XIV Seminário Nacional de Bibliotecas Universitárias, 2006.
- Vieira, A. C. H. Interfaces Adaptativas para Comunidades Virtuais de Aprendizado. 2001. 83f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Ciência da Computação) – Universidade Católica de Pelotas, Pelotas.
- Wagner, D. Augmented Reality on Truly Mobile Devices. Disponível: Studierstube Augmented Reality Project site. Disponível em: http://studierstube.icg.tu-graz.ac.at/handheld_ar/artoolkitplus.php. Acesso em 13 mar. 2008.
- Walairacht, S., Yamada, K., Hasegawa, S., Koike, Y., and Sato, M. 2002. 4 + 4 fingers manipulating virtual objects in mixed-reality environment. *Presence: Teleoper. Virtual Environ.* 11, 2 (Apr. 2002), 134-143.
- Ward, M. O. (1994). XmdvTool: Integrating Multiple Methods for Visualizing Multivariate Data. Proceedings of IEEE Conference on Visualization.
- Ware C. and Frank G. (1996) Evaluating Stereo and Motion Cues for Visualizing Information Nets in Three Dimensions. ACM Transactions on Graphics, 15(2), p.121-139. 1996.
- Weber, G., Kuhl, H.-C., & Weibelzahl, S. Developing adaptive internet based courses with the authoring system NetCoach. In: Workshop on Adaptive Hypertext and Hypermedia, 3., 2001, Sonthofen, Alemanha. Anais. Sonthofen: 4th Conference on User Modeling, 2001. p.35-48.
- Wu, H., Houben, G., De Bra, P. Supporting user adaptation in adaptation in adaptive hypermedia applications. Disponível em: <http://www.wis.win.tue.nl/~debra/infwet00/infwet00.ps>>. Acesso em 20 de abril 2009.
- Yamada, T., Yokoyama, S., Tanikawa, T., Hirota, K., Hirose, M. Wearable Olfactory Display: Using Odor in Outdoor Environment, Proc. of IEEE Virtual Reality 2006, 199-206.

- Yanagida, Y., Kawato, S., Noma, H., Tomono, A., Tetsutani, N. Projection-Based Olfactory Display with Nose Tracking, Proc. of IEEE Virtual Reality 2004, 43-50.
- Zanchett, P. S.; Dalfovo, O. Sistema de Aprendizagem para Maior Idade - SAMI. In: Oscar Dalfovo. (Org.). Sistema de Aprendizagem para Maior Idade - SAMI. Blumenau: Acadêmica, 2004, v. 1, p. 139-158.
- Zhou, Z. et al. (2004) Interactive Entertainment Systems Using Tangible Cubes, Australian Workshop on Interactive Entertainment, p. 19-22.
- Zhou, Z.; Cheok, A. D.; Yang, X. and Qiu, Y. (2004) An experimental study on the role of 3D sound in augmented reality environment, Interacting with Computers Volume 16, Issue 6, , December 2004, Pages 1043-1068.
- Zorzal, E. R. Realidade Aumentada. Vídeos: ARStarWars. Disponível em: <http://realidadeaumentada.com.br/home/index.php?option=com_content&task=view&id=25&Itemid=43>. Acesso em 05 de out. 2009.
- Zorzal, E. R.; Cardoso, A.; Kirner, C.; Lamounier Júnior, E. Visualização de Dados Relativos a Redes de Computadores Usando Realidade Virtual e Aumentada. In: IX Symposium on Virtual and Augmented Reality, 2007, Petrópolis-RJ. 2007.

APÊNDICE A – Dez maiores problemas não resolvidos da Visualização de Informação

De acordo com Chen (2005), os dez maiores problemas não resolvidos da Visualização de Informação são:

1. Acelerar e incentivar estudos de usabilidade e avaliações empíricas na área, os quais consigam propor e validar sistemas de Visualização de Informação de acordo com metas específicas da área, como a de possibilitar que o usuário reconheça padrões e tendências nos dados visualizados;
2. Entender tarefas perceptivo-cognitivas relacionadas a identificar e decodificar objetos visualizados, bem como identificar agrupamentos e tendências de pontos em uma representação visual.
3. Definir sistemas de Visualização de Informação que se adaptem ao nível de conhecimento prévio que o usuário possui para entender a informação visualizada.
4. Investir em diferentes aspectos relativos à pesquisa em Visualização de Informação, como: aprendizado de conhecimentos de Semiótica e de Comunicação Visual; solidificação dos fundamentos teóricos da área pela constante comparação com exemplos e novos sistemas; tornar óbvio a pessoas de outras áreas o potencial de Visualização de Informação; e tomar consciência de problemas de outras disciplinas que podem ser resolvidos com o auxílio de Visualização de Informação.
5. Definir medidas intrínsecas de qualidade, ou seja, medidas que consigam responder a perguntas como “quão fiel e eficientemente um sistema de Visualização de Informação representa os dados subjacentes”, ou “até que ponto esse sistema preserva as propriedades intrínsecas dos fenômenos subjacentes”.
6. Prover diferentes níveis de escalabilidade nos sistemas de Visualização de Informação, tanto nos *software* desenvolvidos quanto no *hardware* que os suporta.
7. Estudar a estética de uma representação visual, e seu impacto no processo de compreensão dos dados representados.

8. Acoplar a sistemas de Visualização de Informação mecanismos de detecção e tendências, com colaborações das comunidades de Mineração de Dados e de Inteligência Artificial.
9. Prover mecanismos que possibilite a observação de causalidade, formulação de hipóteses (por exemplo, por inferências visuais) e avaliação de evidências existentes em um conjunto de dados, em especial desenvolvendo algoritmos que resolvam evidências conflitantes e removam ruídos de fundo existentes nos dados.
10. Prover meios de visualizar todo um domínio de conhecimento.

APÊNDICE B – Sinopse das Técnicas de Visualização de Informações

De acordo com a classificação de Keim (2002), as técnicas que apóiam a Visualização de Informação podem ser divididas em projeções 2D/3D convencionais, projeções geométricas, técnicas baseadas em ícones, fundamentadas em pixels e técnicas hierárquicas. Algumas das técnicas mais conhecidas que compreendem estas abordagens são apresentadas a seguir.

Projeções 2D/3D convencionais

Os gráficos são usados para exibir séries de dados numéricos em formato de imagens, com o objetivo de facilitar a compreensão de grandes quantidades de dados e do relacionamento entre diferentes séries de dados. As técnicas baseadas em projeções 2D/3D abrangem um grande número de técnicas mais simples e amplamente utilizadas gráficos de barras, gráficos de pizza, gráficos de linhas, etc.

Os dados que estejam organizados em colunas ou linhas em uma tabela podem ser apresentados em um gráfico de colunas. Gráficos de colunas (Figura 95 (a)) são úteis para mostrar as alterações de dados em um período de tempo ou para ilustrar comparações entre itens. Em gráficos desta abordagem, as categorias são geralmente organizadas ao longo do eixo horizontal, e os valores ao longo do eixo vertical.

Um gráfico de colunas agrupadas exibe os valores em retângulos verticais bidimensionais. Os gráficos de colunas tridimensionais usam três eixos que permite modificar (um eixo horizontal, um eixo vertical e um eixo de profundidade) e comparam pontos de dados ao longo dos eixos horizontais e de profundidade

Os gráficos de linhas (Figura 95 (b)) podem exibir dados contínuos ao longo do tempo, definidos em relação a uma escala comum e são, portanto, ideais para mostrar tendências em dados a intervalos iguais. Em um gráfico de linha, dados de categorias são distribuídos uniformemente ao longo do eixo horizontal, e todos os dados de valores são distribuídos igualmente ao longo do eixo vertical.

Os gráficos de pizza (Figura 95 (c)) mostram o tamanho de itens em uma série de dados (pontos de dados relacionados apresentados em um gráfico. Cada série de dados em um gráfico tem uma cor ou um padrão exclusivo e é representada na legenda do gráfico. É possível apresentar uma ou mais séries de dados em um gráfico. Os gráficos de pizza têm somente uma série de dados.), de modo proporcional à soma dos itens. Os pontos de dados (valores individuais apresentados em um gráfico e representados por barras, colunas,

linhas, fatias de pizza ou rosca, pontos e diversas outras formas chamadas de marcadores de dados. Os marcadores de dados da mesma cor constituem uma série de dados.) em um gráfico de pizza são exibidos como um percentual de toda a pizza.

Os gráficos de área (Figura 95 (d)) enfatizam a magnitude da mudança no decorrer do tempo e podem ser usados para alertar para o valor total ao longo de uma tendência. Por exemplo, os dados que representam o lucro no decorrer do tempo podem ser apresentados em um gráfico de área para enfatizar o lucro total.

Os gráficos de dispersão (Figura 95 (e)) mostram as relações entre os valores numéricos em várias seqüências de dados ou apresentam dois grupos de números como uma seqüência de coordenadas XY. Os gráficos deste tipo possuem dois eixos de valores, mostrando um conjunto de dados numéricos ao longo do eixo horizontal (X) e outro ao longo do eixo vertical (Y). Ele combina esses valores em pontos de dados únicos e os exibe a intervalos irregulares, ou agrupamentos.

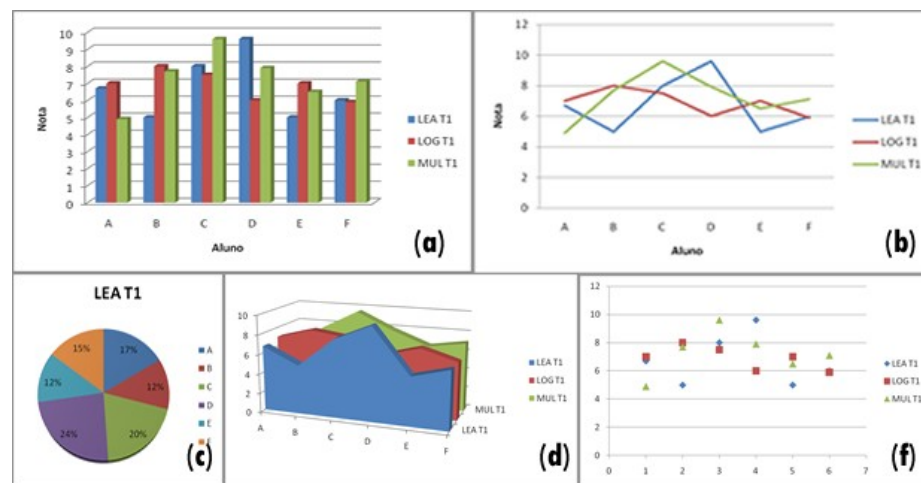


Figura 95 – Exemplos de gráficos convencionais.

Técnicas baseadas em projeções geométricas

Todas as visualizações que realizam o mapeamento dos dados em uma representação visual, empregando algum tipo de projeção geométrica, são enquadradas neste conjunto de técnicas, sendo este conjunto muito utilizado na aplicação de dados multidimensionais. As técnicas mais conhecidas são Coordenadas Paralelas, Matriz de *Scatterplots*, *Survey Plots*, *Radviz*, Coordenadas Paralelas Circulares e *Polyviz* (Valiati, 2008).

A técnica Coordenadas Paralelas foi proposta por Inselberg (1985) para representar múltiplas dimensões utilizando linhas verticais e horizontais, sendo que, cada linha vertical é responsável por representar um atributo e as linhas horizontais mapeiam os valores destes

atributos. As linhas horizontais cruzam as linhas verticais indicando para cada atributo os valores, gerando uma visão do comportamento dos dados baseados nesta projeção.

A Figura 96 é um exemplo da aplicação da técnica Coordenada Paralelas juntamente com o mapeamento visual de cores. Utilizando esta técnica é possível identificar a diferença na distribuição dos dados e a correlação dos atributos. Contudo, esta técnica não é indicada para um número muito alto de registros, uma vez que as linhas se sobrepõem e podem causar ruídos visuais, impedindo a efetiva análise dos dados.

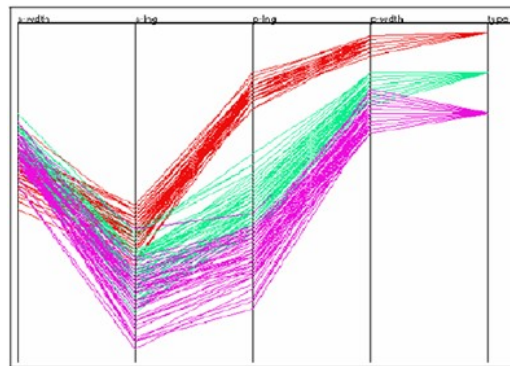


Figura 96 - Coordenadas Paralelas (Valiati, 2008).

A Matriz de *Scatterplots*, apresentada na Figura 97, permite a visualização das possíveis correlações entre pares de dimensões.

A principal limitação desta técnica é a quantidade de dimensões que podem ser apresentadas em uma visualização. Esta técnica é considerada de fácil interpretação, pois combina em uma matriz de projeções semelhante com gráficos bidimensionais, conhecido por *Scatterplots*, permitindo inúmeras interações e diferentes visualizações do conjunto de dados.

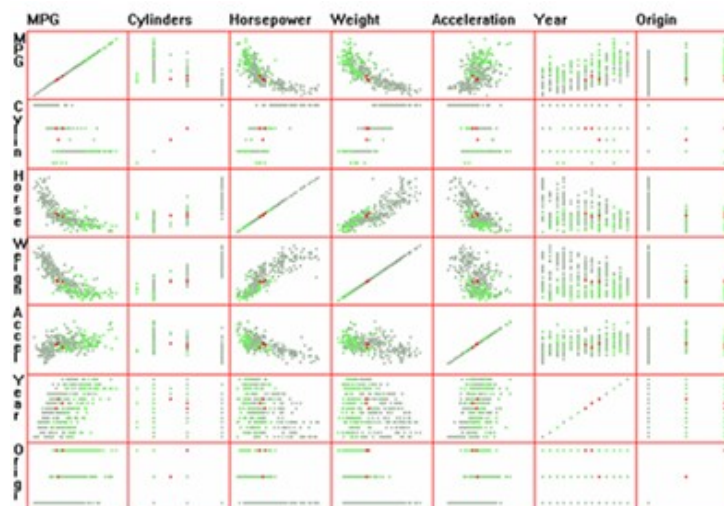


Figura 97 - Matriz de *Scatterplots* (Fayyad et al., 2002).

A técnica *Survey Plots* (Figura 98) mapeia os dados para linhas estendidas de um ponto central, sendo que o comprimento de cada linha corresponde ao valor do item representado. Muito parecido a um gráfico de barra, esta técnica permite que a correlação entre quaisquer dois atributos seja percebida.

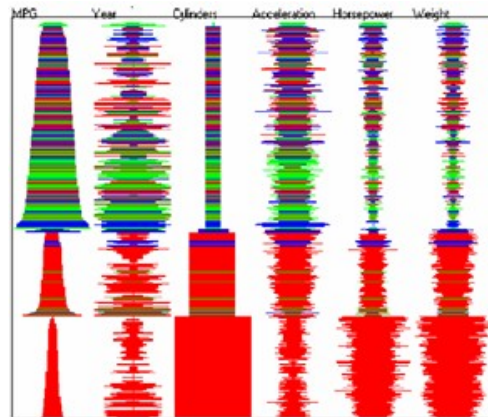


Figura 98 - Survey Plots (Pillati, 2006).

A técnica conhecida por *Radviz* (Hoffman et al., 1997) consiste na visualização de coordenadas radiais, assemelhando-se assim ao mesmo princípio da técnica Coordenada Paralelas. Contudo, as dimensões ou atributos procedem do centro do círculo até sua extremidade, sendo que os dados ao serem mapeados passam por um processo de normalização. A Figura 99 ilustra um exemplo da aplicação da técnica *Radviz*:

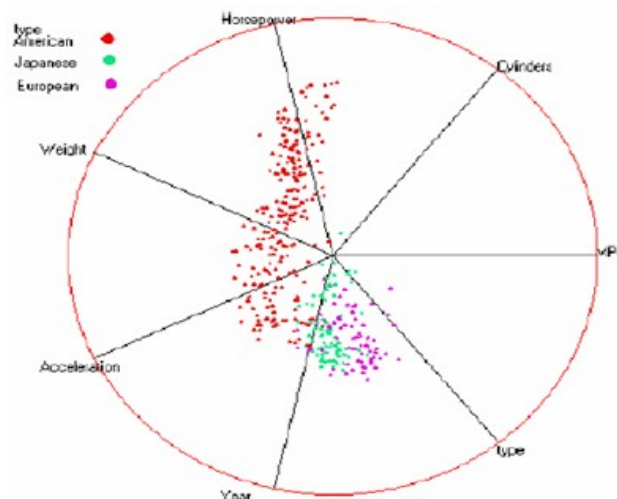


Figura 99 – Radviz (Valiati, 2008).

As Coordenadas Paralelas Circulares, conhecidas também por gráfico de estrelas sobrepostas é uma adaptação da técnica Coordenadas Paralelas, onde a forma de mapear e

projetar os dados permanecem a mesma e apenas as dimensões são dispostas em um formato circular.

A Figura 100 é um exemplo de Coordenadas Paralelas Circular, que em alguns casos se mostra mais efetiva que a abordagem Coordenadas Paralelas, uma vez que os segmentos de linha mais longos são mapeadas na parte externa do círculo e os atributos de menor valor na parte central. Com isso certos padrões podem ser mais facilmente identificados.

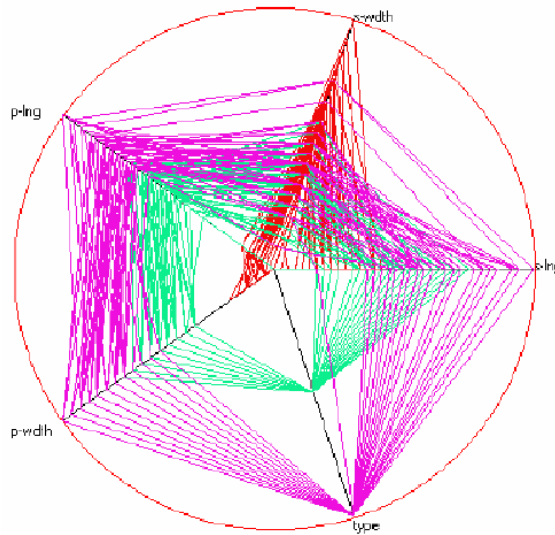


Figura 100 - Coordenadas Paralelas Circulares (Valiati, 2008).

A técnica *Polyviz* (Figura 101) busca combinar características de Coordenadas Paralelas e de *Radviz*. Com esta técnica busca-se aproveitar a capacidade de exibição de agrupamentos e a habilidade de distribuição dos dados em cada dimensão.

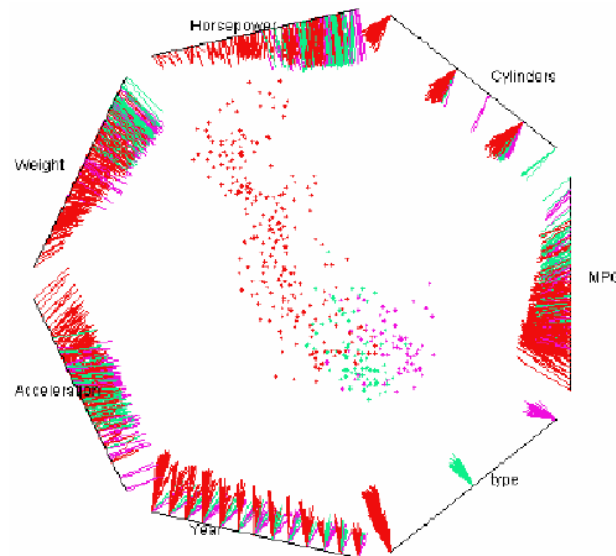


Figura 101 – Polyviz (Hoffman et al., 2000).

Técnicas baseadas em ícones

Este conjunto de técnicas utiliza de glifos ou ícones para representar propriedades dos dados e cada atributo é mapeado em atributos visuais específicos (Freitas, 2001).

A técnica iconográfica mais conhecida são as Faces de Chernoff, sendo que cada uma das dimensões dos dados é mapeada para uma característica da face. Deste modo, cada item de dado é representado por uma face, que de certa maneira causa discussões, primeiro pelo fato da dificuldade de percepção de diferenças muito pequenas nos dados e, segundo, com relação à identificação de agrupamentos.

A Figura 102 mostra diferentes versões da técnica Faces de Chernoff com distintos elementos de dados representados pelo formato de boca, olhos, nariz, sobrancelhas e formato de rosto. Outros atributos como o posicionamento dos elementos podem representar também atributos dos dados.

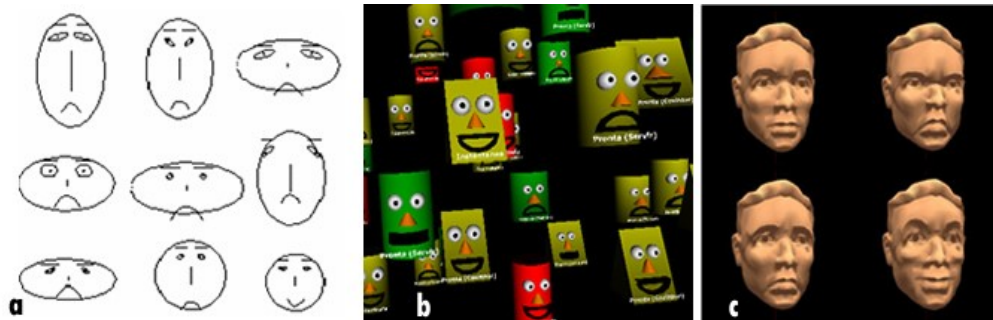


Figura 102 – Diferentes versões da técnica Faces de Chernoff: (a) (Valiati, 2008), (b) (Bueno, 2005) e (c) (Loizides and Slater, 2002).

A técnica Glifo em Estrela e *Stick Figure* são outros exemplos encontrados referentes a este conjunto de técnicas. Glifo em Estrela, ilustrado na Figura 103, é representado por uma imagem no formato de estrela. Cada atributo dos dados é representado por raios de mesmo ângulo, tendo como referência o centro de um círculo, de modo que o comprimento do raio determina o valor do atributo.

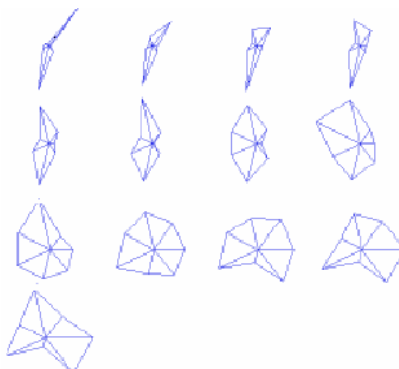


Figura 103 - Glifos em estrela (Pillat, 2006).

A técnica *Stick Figure* mapeia um ícone para cada combinação de valores dos dados, utilizando para isto o comprimento e o ângulo de rotação de uma aresta. A Figura 104 contém o mapeamento de dados em ícones e a distribuição destas características através de um plano cartesiano. Esta técnica exige recursos de navegação e exploração para obter resultados efetivos e o número muito alto de combinações podem dificultar a memorização ou interpretação dos dados dispostos no plano cartesiano.

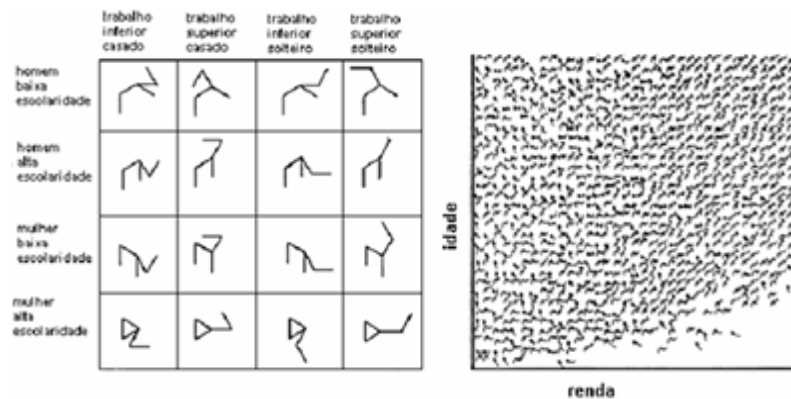


Figura 104 - *Stick Figures* (Valiati, 2008; Fayyad et al., 2002).

Técnicas baseadas em pixels

Este conjunto de técnicas realiza o mapeamento dos valores de cada atributo dos dados em pixels na tela, sendo que a cor é responsável pelo indicativo dos valores. Cada conjunto de valores é exibido em janelas individuais, permitindo representar grandes volumes de dados e mostrar dados similares ou a heterogeneidade dos mesmos (Freitas, 2007).

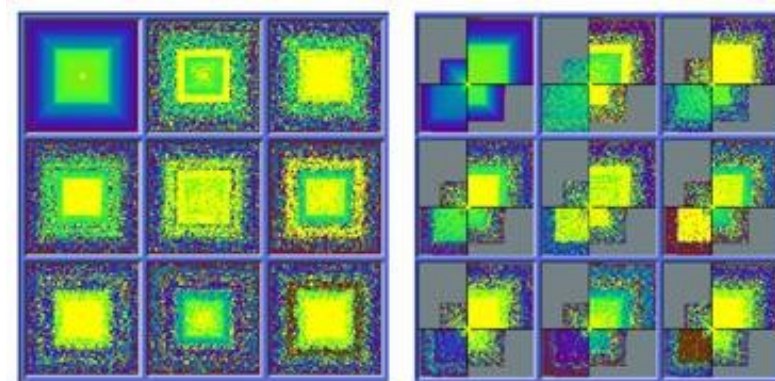


Figura 105 - Visualizações orientadas a pixel de um conjunto de dados com nove dimensões, utilizando duas formas de distribuição espacial: espiral e por eixos (Keim, 1997).

A distribuição espacial dos pixels na janela pode ocorrer de diversas maneiras, na busca por ressaltar relações ou significados semânticos.

O pixel que representa um determinado atributo na coordenada (x,y), está localizado na mesma coordenada para os demais atributos. Dessa forma, a apresentação baseada em um atributo modifica os demais.

De acordo com Valiati (2008) o formato retangular para as janelas permite um uso racional do espaço da tela, a percepção de relacionamentos entre os atributos pode ser dificultada quanto maior for o número de dimensões a serem visualizadas. Uma alternativa de solução a este problema é a utilização de um formato circular, adotada, por exemplo, na técnica Segmentos de Círculo.

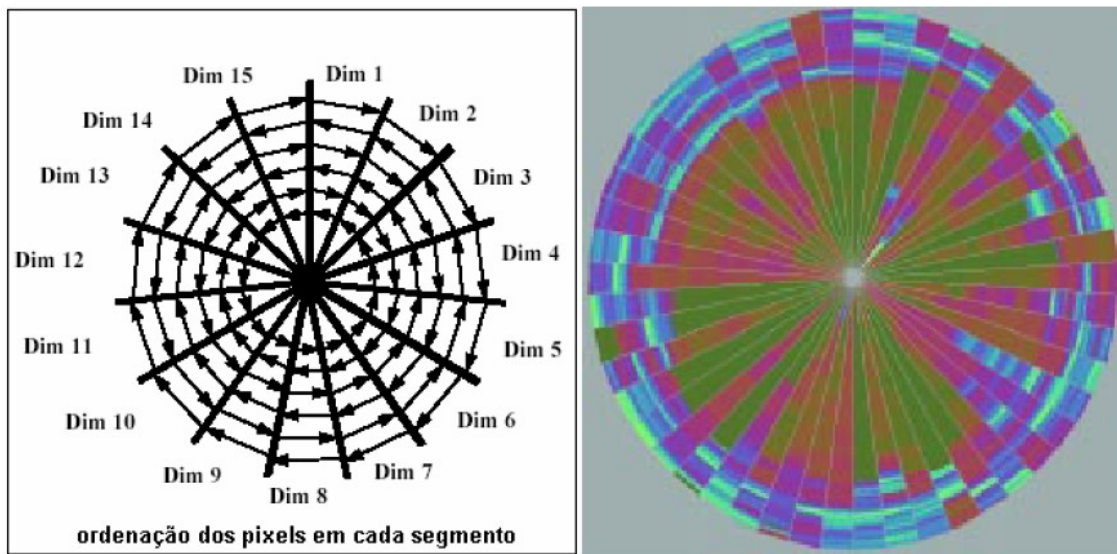


Figura 106 – Segmentos de Círculo (Valiati, 2008; Keim, 1997).

Técnicas hierárquicas

Dados organizados de modo hierárquico são encontrados em diversas situações cotidianas, como por exemplo, a navegação e organização dos arquivos em um computador. As representações de dados hierárquicos são freqüentemente apresentadas no formato de árvores. Desde o final da década de 80 este tipo de representação é adotado (Card et al. 1999).

Na Figura 107 são mostrados formatos de representações de árvores: a) árvore conhecida por indentada, utilizada na navegação e exploração do *Windows Explorer*; b) árvores no formato de nodos e arestas, comumente utilizado em diversas técnicas; e c) árvores com nodos agrupados, formato empregado na técnica denominada *Tree-Maps* e nas técnicas derivativas.

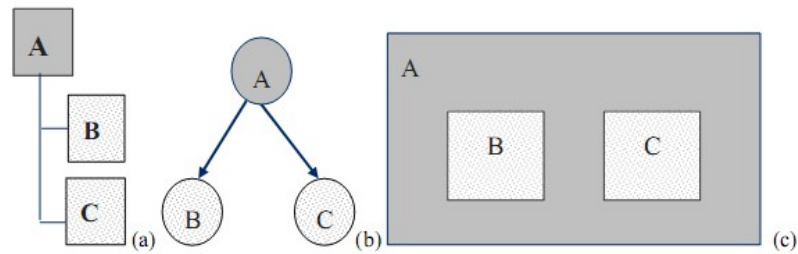


Figura 107 - Formas de representação em árvores (Freitas, 2007).

Herman *et al.* (2000) fazem um levantamento sobre as formas de apresentação em árvores e subdividem as árvores em 3 grupos: árvores tradicionais, árvores expansíveis e árvores 3D.

Existem maneiras distintas de se apresentar dados organizados hierarquicamente em árvores tradicionais, conforme apresentado na Figura 108.

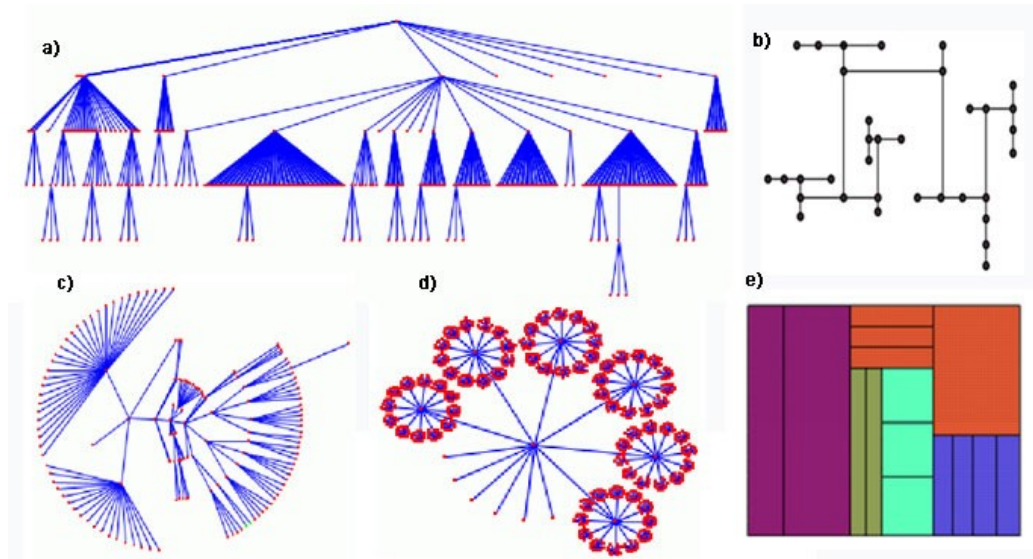


Figura 108 – Modelos de árvores tradicionais (Herman et al. 2000).

O modelo da Figura 108 (a) é conhecido por árvore clássica, é a abordagem mais tradicional da representação deste tipo de estrutura. Os nós estão sempre abaixo de seus ancestrais e a raiz é facilmente identificável. Segundo Herman et al. (2000), esta é melhor abordagem para apresentação de conteúdo, além de poder facilmente ser adaptada para exibir os dados de modo horizontal.

A Figura 108 (b) apresenta a abordagem conhecida por *H-Tree*, que é uma representação clássica para árvores binárias. Sua principal característica é realizar o balanceamento dos nós. Um dos grandes problemas desta abordagem é a dificuldade de se encontrar a raiz da árvore.

A abordagem da Figura 108 (c) é conhecida por árvore radial e tem como principal característica a raiz no centro e a árvore se expandindo no formato radial. Os demais nós que não são folhas possuem seus filhos se expandindo para as extremidades.

A Figura 108 (d) apresenta as árvores circulares que de certo modo se assemelham à abordagem de árvore radial. Contudo, os nós não-folhas têm a mesma estrutura do nó-raiz, ou seja, apresenta seus descendentes em uma estrutura circular.

Por fim, a Figura 108 (e) apresenta a abordagem conhecida por *Tree-Map*, de modo que os retângulos com cores iguais pertencem ao mesmo nível hierarquicamente. O tamanho dos retângulos é importante, pois podem determinar uma característica quantitativa entre os nós.

Os modelos de árvores tradicionais podem em casos de grande volume de dados não se mostrarem eficientes ou adequados, sendo necessária a opção por outras maneiras de representação.

A abordagem de árvores expansíveis consiste em ocultar alguns dos nós e exibir outros e, na medida em que se tem uma interação com a árvore, novos nós são escondidos para outros serem apresentados.

Existem diversos algoritmos computacionais com abordagens distintas de recursos para expansão e agrupamento dos nós e devem, ainda, ser oferecidos recursos como maximização e miniaturização da árvore.

Apresentar árvores no formato 3D é uma abordagem alternativa à representação 2D. Em alguns casos esta abordagem se faz necessária, pois ao se explorar uma nova dimensão é possível apresentar um número maior de dados.

Algumas técnicas são adaptações realizadas nos modelos já apresentadas e se tornam novas representações, enquanto outras são explorações de novas possibilidades possíveis pelas características da utilização do formato 3D. A Figura 109 apresenta alguns modelos de árvores 3D.

A Figura 109 (a) é a versão tridimensional da árvore radial, enquanto que a Figura 109 (d) é a versão tridimensional a técnica *Tree-Map*. A Figura 109 (b) é a abordagem conhecida por árvores hiperbólicas e a Figura 109 (c) é a abordagem conhecida por árvores em cones.

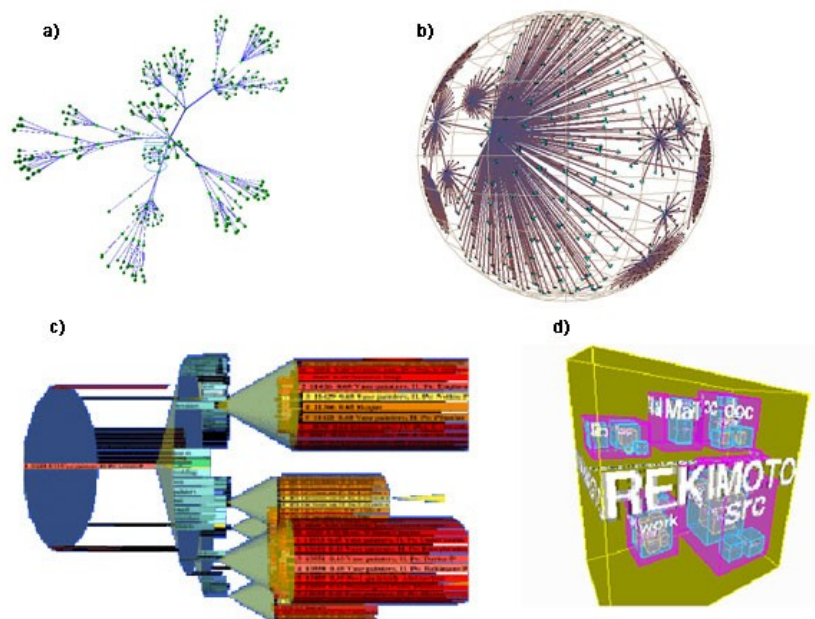


Figura 109 - Árvores 3D (Herman et al., 2000).

As versões tridimensionais juntamente com as árvores expansíveis exigem maiores recursos relacionadas à interação e, perceptivelmente, suportam uma quantidade maior de dados.

APÊNDICE C – Termo de consentimento do usuário

Termo de consentimento

O objetivo deste questionário é conhecer a sua opinião acerca do Sistema Adaptativo para Visualização de Informações com Realidade Aumentada (SAVIRA), um trabalho realizado no âmbito do Doutorado em Ciências, área de conhecimento em Processamento da Informação, da Faculdade de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia.

O SAVIRA foi idealizado a partir de uma estratégia e arquitetura computacional proposta e consiste em associar métodos adaptativos à tecnologia de Realidade Aumentada e Visualização de Informações.

Depois que foi conceitualmente definido, é importante realizar um estudo e apresentar a viabilidade do uso da associação destas tecnologias, a fim de contribuir para o avanço das pesquisas na área.

Por estas razões, solicitamos seu consentimento para a realização deste estudo, bem como possíveis gravações do áudio e vídeo do mesmo. Para tanto, é importante que você tenha algumas informações adicionais:

- i. Os dados coletados durante este estudo destinam-se estritamente a atividades de pesquisa e desenvolvimento;
- ii. A divulgação dos resultados provenientes do estudo pauta-se no respeito a sua privacidade, e o anonimato dos mesmos é preservado em quaisquer documentos que venham a ser elaborados;
- iii. O consentimento para a participação neste estudo é uma escolha livre, feita mediante a prestação de todos os esclarecimentos necessários sobre a pesquisa realizada. Você tem toda liberdade para interromper a sua participação no momento em que desejar.

De posse das informações acima, gostaríamos que você se pronunciasse acerca da realização do estudo apresentado.

() Dou meu consentimento para sua realização;

() Não autorizo sua realização.

_____, _____ de _____ de 2009.

Participante

Nome: _____

Assinatura: _____

Pesquisador

Nome: Ezequiel Roberto Zorzal

Assinatura: _____

APÊNDICE D – Questionário para avaliação de perfil do usuário

Dados de identificação:

Nome: _____

Idade: _____

e-mail: _____

Área de atuação/Atividade atual: _____

Nível de escolaridade: _____

Com relação à utilização de tecnologias:

Esporádico

Frequente

Avalie sua frequência no uso de computadores em geral.					
	1	2	3	4	5
Avalie sua frequência no uso de ambientes tridimensionais (3D) através de jogos eletrônicos ou ambientes virtuais.					
	1	2	3	4	5
Avalie sua frequência no uso de técnicas de visualização de informações.					
	1	2	3	4	5

Com relação ao nível de sua experiência:

Nenhuma
experiência

Alta
experiência

Avalie sua experiência com os computadores em geral.					
	1	2	3	4	5
Avalie sua experiência com interação tridimensional (3D) através de jogos eletrônicos ou ambientes virtuais.					
	1	2	3	4	5
Avalie sua experiência no uso de técnicas de visualização de informações.					
	1	2	3	4	5
Avalie sua experiência no uso de sistemas adaptativos.					
	1	2	3	4	5

Com relação ao nível do seu conhecimento:

Nenhum
conhecimento

Alto
conhecimento

Avalie seu conhecimento sobre Realidade Aumentada.					
	1	2	3	4	5
Avalie seu conhecimento sobre Sistemas Adaptativos.					
	1	2	3	4	5
Avalie seu conhecimento sobre Visualização de Informações.					
	1	2	3	4	5

APÊNDICE E – Lista de questões/tarefas utilizada nos ensaios de interação

Imagine que você é um(a) engenheiro(a) agrônomo(a) que trabalha em uma fazenda e foi encarregado(a) de analisar o conjunto de dados referente a diferentes culturas plantadas nesta fazenda. Com este propósito foi lhe disponibilizada uma ferramenta para exploração e análise visual dos dados. As atividades a serem realizadas encontram-se listadas abaixo.

Para começar a realizar as atividades, por favor, efetue a entrada no sistema com o usuário “AgronomoA” e aguarde carregar as informações para prosseguir. Bom trabalho!

Tarefas:

Questão 1: Qual a média de produção de milho na propriedade do cultivar AS1592?

Questão 2: Qual cultivar possui a produção de forma mais regular na propriedade?

Considere que neste momento você foi solicitado a parar o trabalho que estava realizando, para fazer outra atividade. Tente salvar o estado atual do trabalho, de forma que possa recomendar no dia seguinte do ponto onde parou.

...

Retornando a análise do conjunto de dados, recarregue a visualização do ponto onde parou para continuar o trabalho.

Questão 3: Qual talhão possui a maior capacidade de troca catiônica efetiva (t) no solo (Milho)?

Questão 4: Qual a média de produção de café do cultivar Arábica do tipo B na propriedade?

Questão 5: Qual cultivar de café possui maior produção na propriedade?

Questão 6: Qual talhão possui o menor índice de Ferro (Fe) no solo (Café)?

Questão 7: Após terminar as questões de 1 a 6 pressione a tecla “Esc” do teclado para sair do programa sem salvar a posição atual. Por favor, entre novamente no programa novamente com o usuário “AgronomoA” e repita os procedimentos de 2 – 7. Quais foram as principais alterações do sistema? Essas mudanças ajudaram nas atividades?

APÊNDICE F – Questionário de usabilidade aplicado aos usuários experimentais

Inquirição por questionário para avaliação da escala de usabilidade do Sistema Adaptativo para Visualização de Informações com Realidade Aumentada (SAVIRA):

System Usability Scale (SUS): © Digital Equipment Corporation, 1986.

		Discordo fortemente			Concordo fortemente	
Eu penso que gostaria de usar freqüentemente este sistema.						
		1	2	3	4	5
Eu achei o sistema complexo.						
		1	2	3	4	5
Eu fiquei com impressão de que o sistema é fácil de usar.						
		1	2	3	4	5
Eu penso que precisaria do apoio de um técnico para ser capaz de usar este sistema.						
		1	2	3	4	5
Eu achei que as diversas funcionalidades deste sistema estavam bem integradas.						
		1	2	3	4	5
Eu fiquei com impressão que havia demasiada inconsistência neste sistema.						
		1	2	3	4	5
Eu acredito que a maior parte das pessoas aprenderia a usar muito rapidamente este sistema.						
		1	2	3	4	5
Eu achei o sistema muito enfadonho de usar.						
		1	2	3	4	5
Senti-me confiante a usar o sistema.						
		1	2	3	4	5
Eu precisava aprender muitas coisas antes de voltar a usar o sistema.						
		1	2	3	4	5

APÊNDICE G – Questionários sobre a eficácia do sistema

Sobre a experiência de interação no sistema e aspectos visuais:

	Discordo fortemente				Concordo fortemente
As informações obtidas por meio dos gráficos e ícones são relevantes.					
	1	2	3	4	5
Este sistema tem uma apresentação gráfica agradável e legível.					
	1	2	3	4	5
Eu sempre sei em que cenário estou, como cheguei e onde quero chegar.					
	1	2	3	4	5
De modo geral, considero rápido o acesso às informações neste sistema.					
	1	2	3	4	5
Os recursos de navegação (menus e ícones) estão todos claros e fáceis de achar.					
	1	2	3	4	5
O conteúdo textual está claro e consistente.					
	1	2	3	4	5
É fácil a navegação neste sistema.					
	1	2	3	4	5
Notei as modificações no sistema na segunda vez em que o acessei. Essas modificações foram benéficas nas minhas tarefas.					
	1	2	3	4	5
Gostaria de usar mais vezes sistemas com este tipo de tecnologia.					
	1	2	3	4	5
Gostei da forma em que interagi com sistema. Gostaria de usar mais sistemas com esta abordagem.					
	1	2	3	4	5
Comentários adicionais:					

Durante a utilização do sistema SAVIRA, deparei-me com dificuldade para:

	Nunca					Sempre
Saber o que fazer no cenário de entrada.						
		1	2	3	4	5
Reconhecer as opções disponíveis.						
		1	2	3	4	5
Voltar ao cenário inicial.						
		1	2	3	4	5
Interagir com o sistema.						
		1	2	3	4	5
Encontrar a informação que pretendia.						
		1	2	3	4	5
Perceber a organização da aplicação.						
		1	2	3	4	5
Alterar o tipo de gráfico do sistema.						
		1	2	3	4	5
Comentários adicionais:						

O que você mais gostou nesta aplicação?

Você tem algum comentário adicional sobre o sistema?

Como você entende que este sistema pode ser melhorado?

Muito obrigado pela sua colaboração!