



**Felipe Gomes de Carvalho**

**HybridDesk - Uma Abordagem para Transições  
entre Interfaces em um Sistema Híbrido  
Semi-Imersivo**

**Tese de Doutorado**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Informática do Departamento de Pós-Graduação em Informática da PUC-Rio como requisito parcial para obtenção Do título de Doutor em Informática.

Orientador : Prof. Alberto Barbosa Raposo  
Co-Orientador: Prof. Marcelo Gattass

Rio de Janeiro  
Fevereiro de 2009



**Felipe Gomes de Carvalho**

**HybridDesk - Uma Abordagem para Transições  
entre Interfaces em um Sistema Híbrido  
Semi-Imersivo**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Informática do Departamento de Pós-Graduação em Informática do Centro Técnico Científico da PUC-Rio como requisito parcial para obtenção Do título de Doutor em Informática. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

**Prof. Alberto Barbosa Raposo**

Orientador

Departamento de Pós-Graduação em Informática — PUC-Rio

**Prof. Marcelo Gattass**

Co-Orientador

Departamento de Pós-Graduação em Informática — PUC-Rio

**Prof. José Eugenio Leal**

Coordenador Setorial do Centro Técnico Científico — PUC-Rio

Rio de Janeiro, 13 de Fevereiro de 2009

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, do autor e do orientador.

### **Felipe Gomes de Carvalho**

Possui graduação em Bacharelado em Processamento de Dados pela Universidade Federal do Amazonas (2001) e mestrado em Informática pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (2004). Atualmente pertence ao Grupo de Computação Gráfica - Tecgraf da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Tem experiência na área de Ciência da Computação, com ênfase em Visualização 3D, Interação 3D, Realidade Virtual, Realidade Aumentada, Desenvolvimento de Dispositivos Não-convencionais e Visão Computacional.

#### Ficha Catalográfica

Carvalho, F.G.

HybridDesk - Uma Abordagem para Transições entre Interfaces em um Sistema Híbrido Semi-Imersivo / Felipe Gomes de Carvalho; orientador: Alberto Barbosa Raposo; co-orientador: Marcelo Gattass. — Rio de Janeiro : PUC-Rio, Departamento de Pós-Graduação em Informática, 2009.

v., 161 f: il. ; 29,7 cm

1. Tese (doutorado) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Pós-Graduação em Informática.

Inclui referências bibliográficas.

1. Pós-Graduação em Informática – Tese. 2. Interfaces de Transição. 3. Dispositivos de Interação. 4. Interação 3D. 5. Interfaces Híbridas. 6. Realidade Virtual. 7. Continuidade. I. Raposo, A.B.. II. Gattass, M.. III. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Pós-Graduação em Informática. IV. Título.

CDD: 510

## Agradecimentos

Primeiramente a Deus por ter me dado paciência e perseverança para conseguir alcançar este objetivo.

Aos meus orientadores Professores Alberto Barbosa Raposo e Marcelo Gattass pelo apoio, simpatia de sempre, e incentivo para a realização deste trabalho.

Ao CNPq e à PUC-Rio, pelos auxílios concedidos, sem os quais este trabalho não poderia ter sido realizado.

Aos meus colegas da PUC-Rio, quem me fizeram adorar esse lugar.

Aos meus pais e meus irmãos que sempre me apoiaram durante todo este trabalho.

Ao amigo Peter Hohl pela ajuda intensiva durante a montagem da estrutura da HybridDesk.

À professora Daniela Gorski Trevisan que ajudou muito na fase final da tese com apoio e conselhos importantíssimos.

Ao pessoal do Tecgraf na ajuda, em particular a Manuel Loaiza, Lucas Texeira, Gustavo Wagner, Cristina Nader, Luciano Soares, Thiago Bastos, Flávio Szenberg, Cesar Palomo, Aurélio Moraes, Eduardo Telles, Marcus Alencar, Luciana Lima, Peter Dam, Guilherme Cerqueira, Carolina Vital entre outros. Ao designer de produtos Heleno por ter ajudado com idéias importantes.

À Petrobras através do Ismael Santos e Luciano Reis que apoiaram e ajudaram no trabalho.

À *Absolut Technologies* (<http://www.abs-tech.com/>) por ter cedido alguns projetores e o sistema de rastreamento 3D. À *Da-lite Company* ([www.da-lite.com](http://www.da-lite.com)) por ter doado as 4 telas de projeção que foram utilizados no hardware desenvolvido.

## Resumo

Carvalho,F.G.; Raposo,A.B.; Gattass, M.. **HybridDesk - Uma Abordagem para Transições entre Interfaces em um Sistema Híbrido Semi-Imersivo**. Rio de Janeiro, 2009. 161p. Tese de Doutorado — Departamento de Pós-Graduação em Informática, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

As interfaces pós-WIMP (Windows, Icon, Menu and Pointer) estão trazendo novas modalidades de interação e, conseqüentemente, novos dispositivos de entrada e saída. Boa parte destas novas interfaces ainda estão amadurecendo questões relacionadas a uma definição mais clara de um domínio de aplicação e um arranjo tecnológico adequado para isto. O estudo da relação das propriedades dos dispositivos de interação e a influência destas propriedades na realização das tarefas 3D (navegação, manipulação e seleção) constitui um dos fatores para identificação de arranjos mais propícios para execução dessas tarefas. Entretanto, em um âmbito mais global, cada tarefa pode ser decomposta em sub-tarefas, cuja demanda tecnológica pode vir a ser um desafio, pois gera a necessidade da criação de múltiplos ambientes de interação, bem como a transição entre os mesmos. Estas transições são importantes, pois podem tanto orientar como desorientar o usuário durante a realização de uma tarefa. Assim, a presente tese tem por objetivo propor um arranjo tecnológico que, além de buscar integrar as vantagens de ambientes de interação distintos, visa explorar as interações transacionais entre eles, investigando as propriedades de design (congruência dimensional e propriedades de continuidade) durante a realização de uma tarefa de anotação 3D. Para atingir tal objetivo foi desenvolvido um ambiente semi-imersivo composto de 3 ambientes de interação através de uma composição de dispositivos de interação contemplando as tarefas de edição textual (2D), navegação e manipulação (3D). Considerando que a tarefa de anotação 3D propicia a transição entre os ambientes interativos, um estudo exploratório foi realizado com usuários para investigar o comportamento da interação durante essas transições, identificando a influência das propriedades de design discutidas nesse trabalho.

## Palavras-chave

Interfaces de Transição. Dispositivos de Interação. Interação 3D. Interfaces Híbridas. Realidade Virtual. Continuidade.

## Abstract

Carvalho, F.G.; Raposo, A.B. (Advisor); Gattass, M.. **HybridDesk - An Approach for Transitions between Interfaces in Semi-Immersive Hybrid System**. Rio de Janeiro, 2009. 161p. DSc Thesis — Departamento de Pós-Graduação em Informática, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

The post-WIMP (Windows, Icons, Menu and Pointer) user interfaces are bringing new interaction modalities and the use of new input and output devices. Many of these new interfaces are not yet mature and issues related with a clear definition of an application context and technological requirements are still under investigation. The study of the relationship of the properties of interaction devices and their influence on the performance of 3D tasks (navigation, manipulation, and selection) is an important factor to identify adequate setups for carrying out these tasks. However, in a broader context, each task can be decomposed into sub-tasks which technological demands can be a challenge, since it requires multiple interaction environments, as well as transitions between them. These transitions are relevant because they can either orient or disorient the user during the overall task execution. Thus, this thesis aims to propose a technological setup (a set of interaction devices) to integrate the advantages of different functional environments. The transitional interactions between them are explored by investigating the design properties (dimensional congruency and properties of continuity) during the 3D annotation task execution. In order to achieve such a goal, a semi-immersive environment composed of 3 functional environments was developed. That composition includes a set of devices enabling the tasks of text edition (2D), navigation and manipulation (3D). Assuming that 3D annotation forces transitions between the integrated functional spaces, an exploratory study was conducted with users to investigate the behavior of interaction during these transitions by identifying the influence of the design properties discussed in this work.

## Keywords

Transitional Interfaces. Interaction Devices. 3D Interaction. Hybrid User Interfaces. Virtual Reality. Continuity.

## Sumário

Lista de Abreviações	<b>13</b>
1 Introdução	<b>14</b>
1.1 Novas Modalidades de Interação	18
1.2 Motivação	26
1.3 Proposta	28
1.4 Contribuição	31
1.5 Organização	33
2 Conceitos Preliminares	<b>34</b>
2.1 Espaços de Imagem e Estilos de Interação 3D	34
2.2 Dispositivos de Entrada	36
2.3 <i>Displays</i>	39
2.4 Tarefas e Técnicas de Interação 3D	52
2.5 Interfaces Híbridas de Transição e Continuum da Realidade Mista	56
2.6 Continuidade	57
3 Trabalhos Relacionados	<b>59</b>
3.1 Interfaces Híbridas	59
3.2 Influência dos Dispositivos nas Tarefas de Interação 3D	68
3.3 Interfaces de Transição	81
3.4 Continuidade	83
3.5 Congruência Dimensional	84
3.6 Exibição de Informação e Anotações	84
4 <i>HybridDesk</i> - Concepção e Implementação	<b>89</b>
4.1 Análise da tarefa de Anotação 3D	90
4.2 Arranjo Tecnológico - Protótipo Inicial	92
4.3 Arranjo Tecnológico - Protótipo Atual	98
4.4 Interações de Transição e Continuidade	112
4.5 Implementação	117
5 Estudo Exploratório	<b>119</b>
5.1 Metodologia	120
5.2 Resultados e discussão	124
6 Conclusão	<b>134</b>
6.1 Trabalhos Futuros	136
Referências Bibliográficas	<b>138</b>
A Estereoscopia	<b>151</b>
A.1 Percepção de Profundidade	151
A.2 Estereoscopia no Computador	154
A.3 Paralaxe	156

B	Termo de Consentimento	159
C	Questionário de Satisfação	160
D	Questionário de usabilidade das transições do sistema	161



## Lista de figuras

1.1	Uso de pilhas no desktop virtual.	15
1.2	Representações no desktop virtual cada vez mais fiéis às representações do desktop real.	16
1.3	<i>Desktop</i> transformado em um Escritório Real.	17
1.4	Recursos para organizar janelas espacialmente.	18
1.5	Múltiplos Monitores.	19
1.6	Típica disposição de documentos em uma mesa de escritório.	19
1.7	Escritori (AshdownR05).	20
1.8	<i>TUI - Reactable Project</i> <sup>6</sup> .	21
1.9	<i>Continuum</i> de Interfaces Digital-Virtual-Real (Molina08).	23
1.10	<i>Continuum</i> - Realidade Mista (MilgramK94).	24
1.11	<i>Hybrid User Interfaces Design</i> .	25
1.12	Anotações em um modelo CAD.	27
1.13	Visão geral do HybridDesk.	29
1.14	MiniCave - Ambiente Imersivo para tarefa de navegação.	30
1.15	<i>Reachin Display</i> - Ambiente para tarefas de manipulação local.	30
1.16	WIMP.	31
1.17	<i>Workspace</i> construído: HybridDesk.	32
2.1	<i>CYCLOPE</i> <sup>7</sup> optical tracker.	38
2.2	<i>Wanda</i> <sup>8</sup> .	38
2.3	<i>Data Glove 5 Ultra</i> <sup>9</sup> .	39
2.4	Monitor CRT com estereoscopia através do uso de óculos <i>estéreo</i> <sup>10</sup> .	44
2.5	<i>Workbenchs</i> .	45
2.6	<i>Hemispherical Displays - VisionStation</i> <sup>13</sup> .	46
2.7	<i>Cave</i> <sup>14</sup> .	46
2.8	<i>Panoramic display</i> (Kjeldskov01).	47
2.9	<i>Reachin Displays</i> (MulderL02).	48
2.10	<i>HMD - Head-Mounted Display</i> .	49
2.11	<i>HMDs</i> para Realidade Aumentada.	50
2.12	<i>BOOMs</i> .	51
2.13	<i>HandHelds Displays</i> .	52
2.14	<i>WIM - World-in-Miniature</i> (PauschBBW95).	52
2.15	<i>Go-go technique</i> (PoupyrevBWI96).	54
2.16	Digitação sem o uso de teclados - <i>KITTY Project</i> (KuesterMPC05).	55
3.1	Aumento da área de trabalho do <i>Desktop</i> utilizando <i>HMD</i> (FeinerS91).	59
3.2	<i>Office of the Future</i> (RascarWC98).	60
3.3	<i>Augmented Surfaces</i> (RekimotoS99).	61
3.4	<i>Emmie Project</i> (ButzH99).	61
3.5	Interface híbrida usando um <i>Reachin Display</i> .	62
3.6	Ambiente híbrido para tarefas de modelagem (NakashimaMKT05).	63
3.7	Manipulação de dados médicos utilizando interações 2D e 3D (BornikBKRS06).	64

3.8	<i>MagicMeeting</i> (RegenbrechtWB02).	64
3.9	Gestos como forma de interação para transferência de visualização entre <i>displays</i> (BenkoIF05).	65
3.10	Organização de documentos utilizando luvas e visualização estereoscópica (BaumgartnerED07).	66
3.11	Realidade Virtual Imersiva usando <i>HMD</i> para uma interface híbrida em um desktop (CarvalhoRG07, CarvalhoRG07b).	67
3.12	<i>HMD</i> para <i>VR</i> e Projeções utilizadas em conjunto (IlieLWLF04).	68
3.13	<i>HMD</i> para <i>AR</i> e Projeção com estereoscopia (LeeYKYK07).	69
3.14	<i>DeskCave</i> (AchtenJV04).	70
3.15	<i>CAVE Desktop-Based Interaction</i> .	71
3.16	<i>3D scatterplot</i> .	72
3.17	Exploração Visual de objetos por meio de manipulação usando <i>CAVE</i> e <i>FishTank display</i> .	74
3.18	Exploração Visual de dados Volumétricos usando diferentes <i>displays</i> .	75
3.19	Arranjo de Monitores (LesselsR04).	76
3.20	<i>Arcturus Display</i> (CzerwinskiTR02).	77
3.21	<i>Personal Surround Display</i> (RaymaekersBWC05).	77
3.22	<i>Displays</i> diferentes com o mesmo <i>FOV</i> para o usuário (TanGSP06).	78
3.23	Mesma técnica de interação avaliada em <i>displays</i> diferentes (BowmanBM07).	79
3.24	<i>MagicBook</i> (ButzH99).	82
3.25	Exemplo de descrição de uma interface de transição (GrassetLB06).	82
3.26	Informações exibidas de duas formas: a figura de cima mostra em 3D e a outra em 2D (HarveyJOC01).	85
3.27	Anotações em vídeos.	86
3.28	Recurso da transparência sendo usado nas anotações (RitterSHS03).	87
3.29	<i>Microsoft Photosynth</i> <sup>19</sup> .	88
3.30	Uso de diferentes valores de transparência para codificar o tempo visualmente (BrenneckeSS07).	88
4.1	Três ambientes para a realização da anotação 3D.	93
4.2	Dispositivos utilizados no protótipo inicial	94
4.3	Alguns passos para a realização da anotação 3D.	95
4.4	Uso de transparências como indicador de potenciais colisões.	96
4.5	Os três ambientes interativos do Protótipo Inicial.	97
4.6	Concepção ilustrada por uma maquete virtual.	99
4.7	Estrutura de madeira do <i>workplace</i> .	99
4.8	Componentes da <i>MiniCave</i> .	100
4.9	Espelho Lateral.	101
4.10	Projetores e Espelhos.	102
4.11	Câmeras do sistema de <i>tracking</i> ótico posicionadas para cobrir o espaço interno da <i>MiniCave</i> .	102
4.12	Sistema de Trilhos.	103
4.13	Acessórios para interação no <i>workspace</i> .	103
4.14	Resolução do desktop : 2400x600 e 3072x768.	104
4.15	Saídas de vídeo do <i>workspace</i> .	104
4.16	Geração das imagens das 4 câmeras virtuais para a <i>MiniCave</i> .	105

4.17	Composição das projeções na MiniCave.	105
4.18	Dispositivos utilizados em cada ambiente e as trocas necessárias durante as transições.	106
4.19	<i>Wand</i> virtual acompanhando os movimentos da <i>Wand</i> real.	107
4.20	<i>VR Nav</i> .	107
4.21	Raio partindo da representação virtual da <i>Wand</i> .	108
4.22	Ambiente para manipulação de objetos virtuais inspirado nos <i>Reachin Displays</i> e <i>FishTank</i>	110
4.23	<i>VR Manip</i> .	111
4.24	Ícone 3D na <i>ponta</i> da <i>Wand</i> durante o uso do <i>VR-Manip</i> .	112
4.25	Eventos que disparam as transições entre os ambientes de interação.	113
4.26	Animação para indicar a movimentação do <i>LCD</i> para dentro da MiniCave.	114
4.27	Animação para indicar a movimentação do <i>LCD</i> para fora da MiniCave.	114
4.28	Indicação de um ícone 3D como um dos requisitos para ir ao ambiente <i>WIMP</i> .	115
4.29	Esquema das propriedades da continuidade no HybridDesk.	116
4.30	Esquema das transições do HybridDesk numa adaptação do modelo formal de (GrassetLB06, GrassetLB05).	117
5.1	Execução do estudo ilustrado no modelo de Grasset. (GrassetLB06, GrassetLB05).	124
5.2	Resultados do Questionário de Usabilidade.	126
5.3	Tempo nas transições entre <i>VR-Nav</i> e <i>VR-Manip</i> para o <i>WIMP</i> e vice-versa.	127
5.4	Continuidade nas Transições.	130
5.5	Tempo total gastos nos ambientes e nas transições.	130
5.6	Grau de Satisfação.	131
5.7	Sequência de passos para a execução das tarefas 1 e 2.	132
5.8	Sequência de passos para a execução da tarefa 3.	133
A.1	Dicas fisiológicas para percepção (Stereoscopy07).	151
A.2	Perspectiva.	152
A.3	Iluminação.	153
A.4	Oclusão.	153
A.5	Sombra.	153
A.6	Esquema de estereoscopia para computador.	154
A.7	Estéreo Anaglifo.	155
A.8	Sistema para estéreo passivo por polarizador.	155
A.9	Estéreo Ativo.	156
A.10	Tipos de Paralaxe.	157
A.11	Efeito estereoscópico com paralaxe positiva com distâncias diferentes do observador à tela.	158
A.12	Efeito estereoscópico com paralaxe negativa com distâncias diferentes do observador à tela.	158
C.1	System Usability Scale (Brooke96).	160

## **Lista de tabelas**

- 5.1 Transições, funcionalidades e eventos envolvidos nas interações de transição inter ambientes durante a realização das tarefas. 125

## **Lista de Abreviações**

*2DUI - 2D User Interface*

*3DIIt - 3D Interaction Techniques*

*3DT - 3D Tasks*

*3DUI - 3D User Interface*

*AIS - Apparent Image Space*

*AR - Augmented Reality*

*AV - Augmented Virtuality*

*BOOM - Binocular Omni-Orientation Monitor*

*CAD - Computer Aided Design*

*CRT - Cathode Ray Tube*

*DOF - Degree of Freedom*

*FOR - Field of Regard*

*FOV - Field of View*

*FPS - Frames Per Second*

*GUI - Graphics User Interface*

*HDS- Hybrid Display Systems*

*HMD - Head Mounted Displays*

*HUI - Hybrid User Interface*

*IPT - Immersive Projection Technologies*

*LCD - Liquid Crystal Display*

*MRS - Mixed Reality Systems*

*PIS - Planar Image Space*

*PSS - Personal Space Station*

*SUS - System Usability Scale*

*TUI - Tangible User Interfaces*

*VR - Virtual Reality*

*VE - Virtual Environment*

*VIS - Virtual Image Space*

*WIMP - Windows, Icons, Menu and Pointer*

*WIM - World-in-Miniature*

# 1

## Introdução

Atualmente é vivenciado um momento repleto de novidades em relação às interfaces humano-computador. Novas formas de interação e o acesso a tecnologias antes disponíveis somente a grandes centros tecnológicos estão cada vez mais próximas da realidade cotidiana do usuário comum.

Estas novidades estão cada vez mais visíveis em aparelhos convencionais através de novos recursos bastante diversificados, como por exemplo, a televisão com recursos de interação e imagem 3D, *video games* (como o recente *Wii* da Nintendo) oferecendo recursos de interação mais elaborados do que o *joystick* convencional, celulares com telas sensíveis a toque, entre outros.

Todos esses recursos tecnológicos diversificados são resultados de pesquisas multidisciplinares. Esta multidisciplinaridade tem aproximado profissionais de diversas áreas que antes desenvolviam linhas de pesquisa separadas, e atualmente passam a trabalhar em projetos de interesse comum.

Fatores como o custo reduzido de equipamentos e o aumento do poder de processamento dos computadores favorecem o avanço desses projetos. O impacto destes fatores pode ser observado na evolução das interfaces: iniciando pelas de linhas de comando (1D), passando pelas convencionais 2D e a progressiva adoção das tecnologias de gráficos 3D, antes restritas a poucos centros de pesquisa e desenvolvimento.

Após as interfaces baseadas em linhas de comando, surgiram as primeiras interfaces gráficas denominadas *GUIs* (*Graphics User Interface*). Esta mudança de paradigma foi importante, uma vez que muitas pessoas preferem gráficos ao invés de textos. Porém, o uso destes novos recursos tornou-se mais inteligível ao usuário a partir do início do emprego de metáforas. No dicionário<sup>1</sup>, o significado de metáfora é:

*“Metáfora é uma figura de estilo (ou tropo linguístico), que consiste numa comparação entre dois elementos por meio de seus significados imagísticos, causando o efeito de atribuição “inesperada” ou improvável de significados de um termo a outro. Didaticamente, pode-se considerá-la como uma comparação que não usa conectivo*

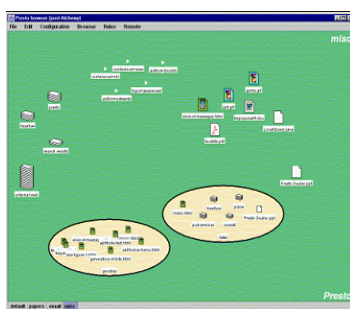
<sup>1</sup>[www.dicionarioinformal.com.br](http://www.dicionarioinformal.com.br)

(por exemplo, “como”), mas que apresenta de forma literal uma equivalência que é apenas figurada.”

Esta “equivalência figurada” foi adotada através da associação da ideia de um escritório real composto por pastas, documentos, lixeira, etc.

Esta associação entre o escritório virtual e o real atribuiu significado à *GUI* e aproximou seu entendimento ao conhecimento já existente dos seus usuários. A partir deste momento, os usuários obtiveram acesso a um escritório virtual, conhecido como *desktop virtual* ou simplesmente *desktop*. Este novo ambiente oferece uma aparência visual que lembrava um escritório real mas acrescido de recursos computacionais, como a organização de documentos por um número grande de pastas, editores de texto, planilhas, cálculos, recursos de busca, entre outros. Todos estes elementos são disponibilizados através de um conjunto gráfico de janelas, menus e ícones. Seu gerenciamento é realizado por meio de um sistema de janelas (*windowing system*). A interação sobre este conjunto é feita com o uso dos dispositivos mouse e teclado. A este conjunto de características foi denominado modelo ou paradigma *WIMP* (*Windows, Icons, Menu and Pointer*).

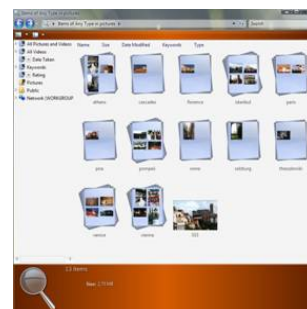
Além da ideia da organização dos documentos por meio de pastas, outras formas de organização foram acrescentadas ao *desktop*, novamente com o auxílio de metáforas. Por exemplo, a organização por pilhas de documentos, uma prática frequentemente encontrada em escritórios reais (Malone83). Algumas representações desta prática foram levadas para o *desktop* (ManderS92), (BauerF04), (BauerF05), (DourishE99) (Figura 1.1), e em sistemas operacionais mais recentes, como o Windows Vista<sup>2</sup>, esse recurso é também oferecido - Figura 1.1(c).



1.1(a): MixedPiles (DourishE99).



1.1(b): DynaPad (BauerF04).

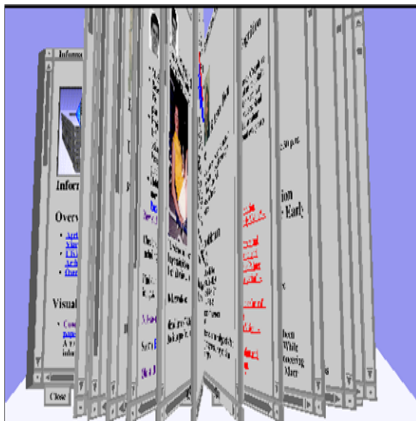


1.1(c): WindowsVista - Organização por Pilha.

Figura 1.1: Uso de pilhas no desktop virtual.

<sup>2</sup>[www.microsoft.com/windowsvista/](http://www.microsoft.com/windowsvista/)

Com um maior poder de processamento, proporcionado pelo avanço tecnológico dos processadores, além dos dispositivos de saída mais modernos, as representações visuais das metáforas ficaram cada vez mais enriquecidas. Com estes recursos adicionais foi possível aproximar tanto a aparência visual como também o comportamento real (e.g., interações baseadas em leis físicas reais) dos objetos reais simbolizados pelas metáforas adotadas (CardR96), (DenoueNC03a), (Denoue03NCb), (AgarawalaB06) (Figura 1.2). Um exemplo dessa aproximação pode ser encontrado nas opções “*Look-and-Feel*” dos sistemas de janelas atuais.



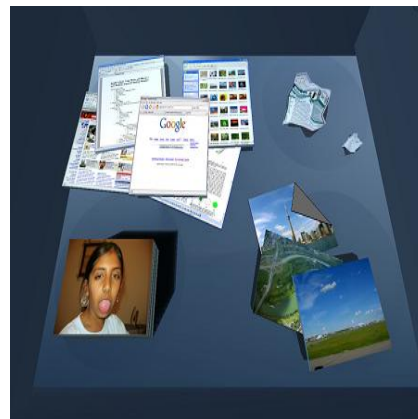
1.2(a): WebBook (CardR96).



1.2(b): 3D Paper Fly (DenoueNC03a).



1.2(c): Attractive Windows (Denoue03NCb).



1.2(d): BumpTop (AgarawalaB06).

Figura 1.2: Representações no desktop virtual cada vez mais fiéis às representações do desktop real.

Apesar do grande número de aplicações que utilizam esses recursos visuais, todas ficavam limitadas aos “quatro cantos do monitor”, ou seja, um espaço físico de trabalho relativamente pequeno comparando-se com o espaço físico de um escritório real.



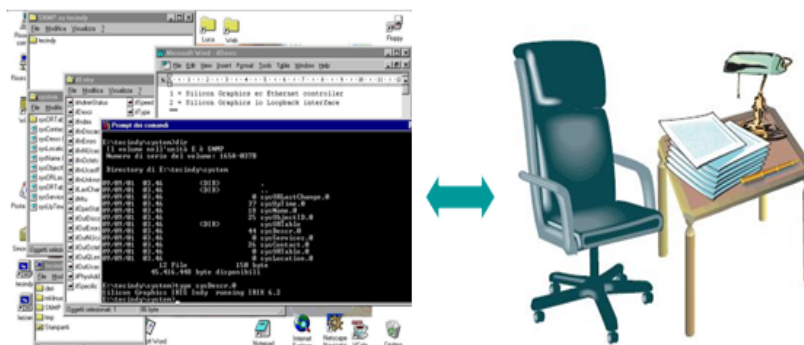


Figura 1.3: *Desktop* transformado em um Escritório Real.

Desta forma, recursos como a sobreposição de janelas (*windows overlapping*) foram e ainda são frequentemente utilizados para manter várias aplicações funcionando simultaneamente. A abertura de várias janelas simultaneamente culmina em problemas como *cluttered screen* (MiahA99) e *Windowitis*<sup>3</sup> (KahnC95). Estes problemas são decorrentes da dificuldade e da desorientação na manipulação das informações diante de uma quantidade grande de janelas abertas. O esforço cognitivo para organizar este problema tornou-se elevado e até recebeu denominações como *window housekeeping* (Shneiderman98). Vale ressaltar que todo este esforço não afeta somente a parte cognitiva, mas também a funcional - o tempo gasto clicando e movimentando o mouse tornou-se elevado.

Considerando o espaço físico de um monitor e os problemas de sobreposição de janelas, se o *desktop* fosse transformado em um escritório real provavelmente seria algo como a ilustração na Figura 1.3. O espaço físico de avaliação das informações seria equivalente a uma mesa muito pequena. A pilha de papel ilustrada em cima da mesa pequena simboliza bem este mecanismo da sobreposição de janelas, visualmente nota-se as dificuldades no manejo dos papéis (aplicações no *desktop*) neste escritório.

Algumas funcionalidades nos sistemas de janelas foram acrescentadas para contornar o demasiado número de janelas abertas utilizando ainda um único monitor. Um deles foi a ideia dos *virtual workspaces*, ou seja, a existência de múltiplos espaços virtuais de trabalho. Mas somente um poderia ser visualizado por vez. Este recurso permitiu ao usuário organizar suas tarefas por áreas de trabalho. Também conhecido como *virtual desktop*, este recurso pode ser encontrado em várias formas, por exemplo, utilizando gráficos 3D. O sistema de janelas do *Windows Vista* adotou uma alternativa diferente para organização das suas janelas. Consistiu em exibir as janelas

<sup>3</sup> *Windowitis* : Refere-se à situação onde há a presença de muitas janelas abertas simultaneamente.

tridimensionalmente organizando-as por profundidade (Figura 1.4(a)). Além disso, recentes alternativas estão sempre aparecendo mostrando criatividade como no caso do *360desktop*<sup>4</sup> (Figura 1.4(b)). Esta alternativa transforma o desktop em uma área maior de trabalho inspirada em um panorama de 360 graus.



1.4(a): Recurso do Windows Vista para visualização de todas janelas ativas.



1.4(b): Desktop inspirado na forma de uma Panorama de 360 - *360desktop*<sup>4</sup>.

Figura 1.4: Recursos para organizar janelas espacialmente.

Nesta seção, vários recursos das interfaces *WIMPs* foram relatados, caracterizando o poder de flexibilidade e experimentação dessas interfaces no sentido de permitir a inclusão de novas funcionalidades. Muitos desses elementos foram inspirados em elementos pertencentes a um escritório real, ou seja, houve uma clara intenção em aproximar os dois ambientes, pelo menos visualmente, acrescentando vantagens digitais. Mas como mencionado, boa parte desses recursos ficou restrita a um espaço físico de visualização pequeno: monitor convencional. Devido a esta restrição, novas pesquisas na busca de soluções para tratar esta limitação física estão sendo realizadas.

## 1.1 Novas Modalidades de Interação

A evolução de soluções visando vencer a limitação física dos pequenos monitores convencionais ficou caracterizada por um conjunto de esforços através do desenvolvimento e experimentação de novas tecnologias por meio de novos dispositivos de *input* e *output* para as *WIMPs*, assim como para novas interfaces que surgiram.

Uma das alternativas iniciais foi realmente o aumento real da área física de exibição com a utilização de vários monitores (Figura 1.5), o que

<sup>4</sup>[www.360desktop.com](http://www.360desktop.com)

tornou-se ultimamente uma prática muito comum. Estudos com usuários demonstraram este aumento resulta em benefícios na produtividade do trabalho (CzerwinskiSRMRS03). Outros estudos mostram que indivíduos que passaram a utilizar mais de um monitor começaram a achá-los indispensáveis (Grudin01). Isto deve-se ao fato de que normalmente um monitor fica na frente do usuário e os demais são utilizados para acessar informações rapidamente na forma de consultas. De certa forma isso aproxima o comportamento em um escritório real onde uma pessoa permanece focada em um documento e de vez em quando olha rapidamente para outros (papel, livros, etc) que estão nos lados para auxiliar a tarefa (Figura 1.6).



Figura 1.5: Múltiplos Monitores.



Figura 1.6: Típica disposição de documentos em uma mesa de escritório.

Seguindo a mesma ideia dos múltiplos monitores, uma alternativa consistiu no uso de um ou mais projetores caracterizando soluções baseadas em projeções. Neste sentido vale destacar um trabalho chamado *Escritori* (AshdownR05) (Figura 1.7). Este trabalho consiste em uma mesa de escritório real acrescida de informações digitais na forma de papéis virtuais projetados sobre a mesa. A interação é feita por meio de uma caneta rastreada. Outras



Figura 1.7: Escritori (AshdownR05).

soluções baseadas no uso de projeções estão nos quadros brancos interativos, consistindo no uso de projetores para aumentar a área física de exibição, e a substituição do mouse e teclado por canetas rastreadas simbolizando “giz e pincéis virtuais”.

Observando o trabalho *Escritori* como exemplo, nota-se que o desenvolvimento de novas tecnologias buscou também orientações de exibição diferentes daquela orientação vertical do monitor convencional. A transferência da visualização do desktop em um monitor para uma superfície horizontal passa a caracterizar uma visualização horizontal. Esta forma de visualização (e.g., uma projeção sobre uma mesa) apresenta uma *affordance*<sup>5</sup> diferente daquela oferecida pelos monitores, onde a visualização é vertical (KrugerC02).

A *affordance* de um *desktop*, na visualização horizontal, tende a ficar similar à das mesas de escritório real, devido a sua aparência e espaço físico. Isto pode induzir ao uso das habilidades motoras normalmente utilizadas sobre uma mesa através do uso das mãos e braços.

Recentemente, a tecnologia multi-toque (*multi-touch*) vem sendo bastante adotada e uma quantidade crescente de aplicativos está fazendo uso desta nova modalidade de interação. Esta tecnologia oferece interações utilizando como entrada de dados toques de dedos em uma superfície. Estas interações possibilitam o resgate de algumas práticas realizadas em cima de uma mesa de escritório (e.g., arrastar papéis com o uso dos dedos), dadas as características físicas desta tecnologia na sua utilização horizontal. Além disso, ela possibilita uma grande vantagem através da possibilidade das interações bimanuais, uma vez que múltiplos pontos de contato são permitidos.

Outra tecnologia emergente são as chamadas *TUIs* (*Tangible User Inter-*

<sup>5</sup>*affordance* : Refere-se ao atributo de um objeto que permite às pessoas aferir como utilizá-lo (Norman88).



Figura 1.8: TUI - *Reactable Project*<sup>6</sup>.

*faces*) (IshiiU97), por exemplo, no projeto *Reactable Project*<sup>6</sup>. (Figura 1.8) que faz uso das habilidades motoras manuais. As *TUIs* atribuem funcionalidades digitais a artefatos físicos, ou seja, dá uma forma física a uma informação digital. Nesta modalidade de interface são aproveitadas as habilidades motoras, de modo que a manipulação de objetos físicos passa a alterar o estado de um conteúdo digital.

Esses novos dispositivos e interfaces caracterizam uma área de desenvolvimento e experimentação voltados para as *GUIs* e de alguma forma possibilitam o resgate maior de práticas de trabalhos reais como: interações físicas similares às utilizadas em mesas e quadros brancos. Alguns destes esforços podem ser vistos como tentativas em aproximar mais o *desktop* ao escritório real e vice-versa, ou seja, mesclar os dois de tal forma que as vantagens virtuais sejam percebidas, mas com o resgate de uma parcela das práticas feitas no ambiente real.

### 1.1.1

#### **A expansão do desktop para outros domínios de aplicação - 3D**

As tarefas de um *desktop* convencional são na sua grande maioria pertencentes a edição de textos, organização de arquivos, uso de tabelas, cálculos matemáticos, entre outros. Mas outros domínios de aplicações surgiram, e.g. edição de imagens 2D, animação, CAD (*Computer Aided Design*), visualização interativa 3D, entretenimento e jogos. As características inerentes desta nova classe de aplicações criaram uma demanda não totalmente satisfeita pela ideia à qual a metáfora de *desktop* se propôs originalmente representar, um escritório. Entretanto, aplicações como CAD, edição de imagens 2D, e aplicações gráficas envolvendo dados bidimensionais ainda são compatíveis com a ideia do *desk-*

<sup>6</sup><http://mtg.upf.edu/reactable>

*top*, pois não deixam de ser análogas às tarefas de engenheiros e arquitetos, quando utilizam suas pranchetas nos seus respectivos escritórios.

Porém, o aparecimento das aplicações interativas tridimensionais levou a uma incompatibilidade quando do uso do *setup* tecnológico convencional (mouse, teclado e monitor). Esta nova classe de aplicativos desmembrou-se em diversas áreas: Visualização de Dados, Modelagem, Interação, Animação, entre outras. O *setup* convencional, apesar de apresentar meios de lidar interativamente com gráficos 3D, não supre todas as necessidades de interação, dada a dimensão adicional presente neste novo ambiente.

A principal evidência que suporta este fato é a existência de uma linha de pesquisa voltada exclusivamente para computação gráfica 3D, tão antiga quanto as próprias *WIMPs*. Esta linha de pesquisa inicialmente juntava esforços para o desenvolvimento de aplicações e hardware voltados para visualização de cálculos matemáticos, assim como aplicações do tipo simuladores de voo. Depois agregaram-se outros domínios até o que hoje chamamos de Realidade Virtual (*VR - Virtual Reality*). De forma abrangente, esta linha de pesquisa tem sido denominada como *3DUI (3D User Interfaces)*. Os resultados desses desenvolvimentos foram: a criação de técnicas de geração de imagens mais realistas, métodos para gerenciamento de dados 3D, técnicas de interação, entre outros. Na parte de hardware, além do uso do monitor convencional com o uso de óculos estéreo, foram desenvolvidos equipamentos inéditos como os *HMDs (Head Mounted Displays)*, *CAVEs*, *WorkBenches*, *HemiSpherical Displays*, entre outros (Capítulo 2). Além disso, dispositivos de entrada (*input devices*) também foram desenvolvidos, por exemplo, rastreadores (*trackers*), luvas (*gloves*), *wands* (apontadores 3D - *3D Pointers*), dispositivos táteis, entre outros.

Apesar das *3DUIs* serem tão antigas como as *WIMPs* e durante um bom tempo estarem em desenvolvimento de forma paralela, algumas das contribuições das *3DUIs* foram sendo incorporadas aos poucos ao *desktop*, devido ao aparecimento de aplicativos de natureza 3D. Alguns indícios são o uso de dispositivos como óculos 3D e luvas em jogos e em aplicações de visualização científica. No *game console* *Wii*, por exemplo, há um dispositivo chamado *Wiimote* que incorpora o resultado de pesquisas no desenvolvimento de dispositivos de rastreamento 3D (*tracking*). Além dessas evidências, há também diversas técnicas interativas desenvolvida utilizando mouse e teclado voltadas para *desktop*. Uma evidência clara para o sucesso desses esforços são os jogos eletrônicos para computador.

### 1.1.2 Integração de Interfaces

Observando a evolução das interfaces apresentadas ao longo das seções anteriores, nota-se o desenvolvimento de duas linhas de pesquisas inicialmente separadas porém cada vez mais integradas, *WIMPs* e *3DUIs*. Esta integração contribui para o progressivo desenvolvimento de um novo campo de pesquisa chamado Interfaces Híbridas (*Hybrid User Interfaces*) (FeinerS91). Neste campo estão reunidos os esforços na tentativa de misturar harmoniosamente tanto os elementos virtuais (aplicações, técnicas de interação, recursos gráficos, etc.) quanto físicos (dispositivos de entrada e saída) de uma ou mais interfaces.

A progressiva integração de interfaces de naturezas diferentes, como as *WIMPs* e as *3DUIs*, resultou no aparecimento de outras interfaces que compartilham características das duas. Estas interfaces “intermediárias” estão contidas em um espectro de interfaces proposto por Molina (Molina08) (Figura 1.9). Este espectro ficou denominado como Virtualidade Misturada e foi inspirado no processo evolutivo das interfaces classificando-as em relação ao grau de imersão oferecido por elas.

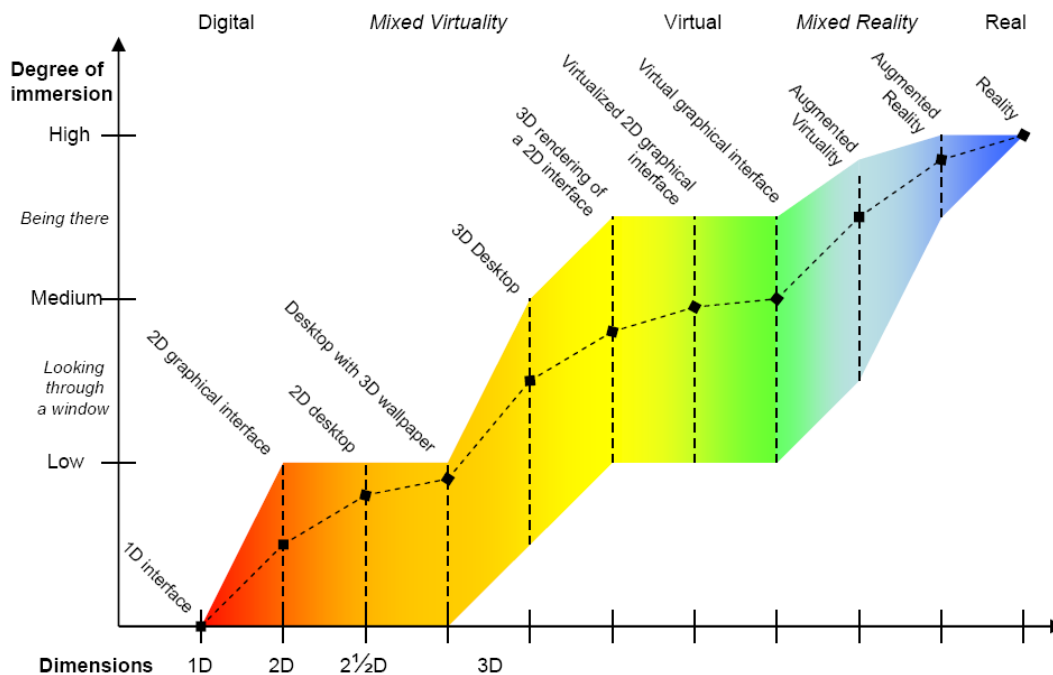


Figura 1.9: *Continuum* de Interfaces Digital-Virtual-Real (Molina08).

Além disso, o espectro de Molina é uma extensão de um outro proposto por Milgran (MilgramK94) que compreende uma faixa de interfaces relacionando o mundo real e o virtual. Milgran denominou-o como continuum da Realidade Mista (Figura 1.10). Este *continuum* é descrito como um espectro no qual em um extremo está a Realidade Comum (sem alteração alguma), e

no outro extremo está uma Realidade totalmente Virtual (Figura 1.10). Ao longo dele encontram-se a Realidade Aumentada (*AR - Augmented Reality*) e a Virtualidade Aumentada (*AV - Augmented Virtuality*). A *AR* é baseada no mundo real enriquecido com informações virtuais, enquanto a *AV* está baseada no mundo virtual enriquecido com informações do mundo real.



Figura 1.10: *Continuum* - Realidade Mista (MilgramK94).

Todo este conjunto de interfaces (contidas no espectro mais abrangente proposto por Molina) compõe uma diversidade de configurações de hardware e software particulares, e desta forma são potenciais “ingredientes” para uma interface híbrida (*HUI - Hybrid User Interface*) que objetiva integrá-los. A concepção de uma *HUI* pode culminar em interfaces novas com recursos híbridos inspirados em outras interfaces buscando integrar funcionalidades antes separadas.

A forma como esses elementos de hardware e software são integrados pelas *HUIs* pode resultar em um tipo de interface que interliga outras interfaces existentes, ou seja, uma forma de interface de transição (*Transitional Interfaces*) (BillinghamK94, GrassetLB06).

Entretanto, ainda há uma carência em relação ao design das *HUIs*, por ser uma área de pesquisa bastante multidisciplinar é difícil definir regras claras para guiar esse desenvolvimento. Porém já existem algumas iniciativas neste sentido, por exemplo, propriedades que visam manter uma continuidade de interação entre espaços de interação distintos, ou seja, interfaces distintas. Desta forma, pode ser útil aproveitá-las como guias durante o processo de design das *HUIs*, assim como o estudo de requisitos. Além disso, o conceito de congruência dimensional pode guiar a escolha de dispositivos para a realização de tarefas, uma vez que este conceito ajuda a identificar as necessidades dimensionais das tarefas. A Figura 1.11 resume visualmente a junção de elementos das *WIMPs* e *3DUIs* por meio das *HUIs* utilizando regras de continuidade e congruência dimensional para guiar o desenvolvimento de uma Interface de Transição.



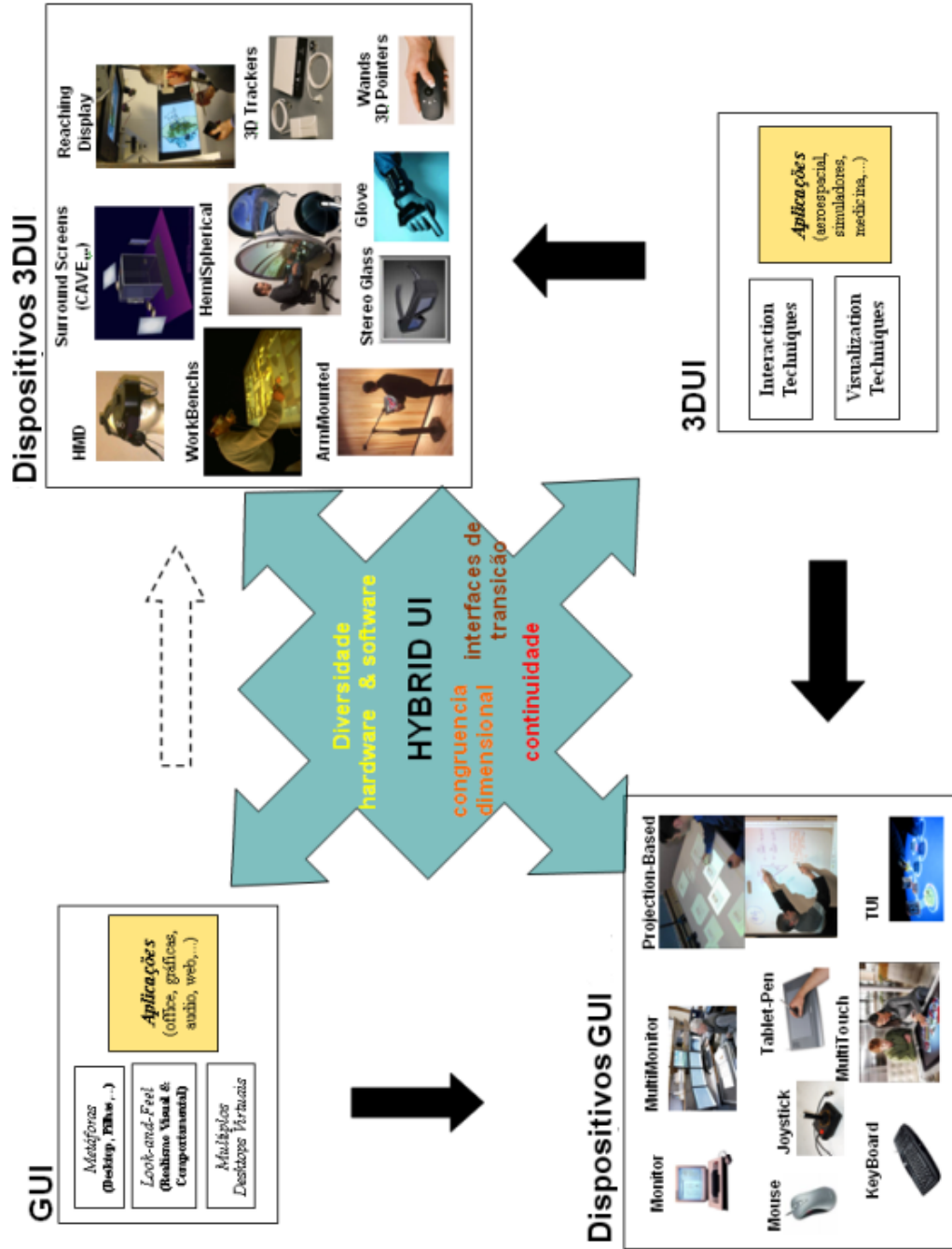


Figura 1.11: Hybrid User Interfaces Design.

A caixa no canto esquerdo superior indica alguns focos de interesse importantes direcionados nas WIMPs em termos de software, assim como a caixa no canto inferior esquerdo indica os recursos de hardware utilizados por elas. As caixas inferior e superior à direita indicam respectivamente os focos de interesse em termos de software e o hardware das *3DUIs*. A seta pontilhada entre as caixas superiores indica a progressiva aproximação das *WIMPs* às *3DUIs*, dado o aparecimento de aplicações 3D e o uso de dispositivos não convencionais como luvas e óculos 3D por exemplo.

## 1.2 Motivação

A motivação deste trabalho parte da intenção de criar um ambiente de trabalho (*workspace*) que possibilite a realização de tarefas que sejam compostas por sub-tarefas de naturezas distintas. Tais sub-tarefas seriam realizadas por meio de sub-ambientes. Desta forma, a interligação dos mesmos é necessária, assim como o tratamento das transições entre eles para prover a realização de tarefas multi-ambientes. Mais especificamente, a criação de um *workspace* que possibilita a co-existência física de sub-ambientes para tarefas de natureza simbólica (edição de textos, criação de planilhas, apresentações) e tarefas gráficas do tipo 3D interativas.

Estes sub-ambientes seriam criados inspirando-se em outras interfaces já existentes que mostraram vantagens na realização das tarefas às quais eles se propuseram. A interligação destas interfaces seria feita buscando manter uma certa continuidade na realização de uma tarefa como um todo, ou seja, prover transições entre interfaces de tal forma que o usuário consiga realizar esta tarefa global tirando proveito das interfaces diferentes pertencentes ao ambiente de trabalho criado.

Esta co-existência física é um fato importante da motivação, pois pretende-se com isso evitar a mudança de ambiente de trabalho, ou seja, evitar o deslocamento físico do usuário para outro ambiente de trabalho com a finalidade de terminar uma tarefa iniciada em outro.

O acesso às informações em um ambiente virtual 3D não necessariamente está restrito à visualização dos objetos 3D pertencentes a este ambiente. Outras informações, na forma de textos e áudios, também são utilizadas para ajudar a descrever informações e relações sobre os objetos. Uma forma de fornecer estas informações adicionais se faz por meio de anotações. A possibilidade de “anotar” em um mundo virtual permite aos usuários descrever, informar opiniões, fazer perguntas, etc. Uma anotação é uma nota posicionada em algum lugar do mundo para explicar, questionar, ou revisar algum aspecto dele



virtual imersivo é iniciado no modo de navegação. O gerente apanha um apontador 3D e começa a realização de gestos para navegar por dentro do ambiente virtual. Ele navega até uma determinada região onde recentemente uma representação de uma escada foi modelada. Próximo a ela, ele aciona uma técnica de seleção chamada *raycasting* e aponta para escada selecionando-a em seguida. Depois, ele aciona um comando que inicia o ambiente de manipulação local. Neste ambiente, o objeto selecionado aparenta flutuar na frente do gerente possibilitando a manipulação da escada ao alcance das mãos utilizando o apontador 3D. Algumas avaliações detalhadas são realizadas através de gestos que rotacionam e transladam a escada. Após estas avaliações, ele resolve informar para o designer responsável pela modelagem para refazer os parafusos do modelo de outra forma. Para isto, ele aciona um comando para voltar ao desktop. Lá ele cria um arquivo do tipo Word, com a descrição do parafuso, e adiciona algumas imagens de referência. No gerenciador de arquivos do desktop, ele aciona um menu de contexto, clicando com o botão direito do mouse no arquivo de texto recém criado, e vai até a opção “Enviar para Ambiente de Manipulação 3D”, e escolhe a sub-opção “Objeto Selecionado”. Feito isto, o desktop é automaticamente desativado e o ambiente de manipulação volta a ficar ativo, mas desta vez, no objeto 3D está anexado um ícone 3D referente àquele arquivo de texto.”

### 1.3

#### Proposta

O trabalho propõe um *workspace* chamado *HybridDesk*, na forma de uma Sistema Híbrido Semi-Imersivo que proporciona transitar entre três interfaces de trabalho (WIMP, VR-Nav, e VR-Manip) através de transições. Cada uma das três interfaces será um sub-ambiente de trabalho (Figura 1.13).

#### 1.3.1

##### Realidade Virtual para Navegação - MiniCave

Este sub-ambiente será utilizado para realizar tarefas de navegação em um ambiente virtual 3D. Ele é inspirado no arranjo tecnológico de uma *CAVE* (ver Seção 2.3.2) mas em escala reduzida com o intuito de ocupar um mesa, por esse motivo, foi denominado como *MiniCave*. Possui como dispositivo de saída um conjunto de quatro telas de projeção do tipo *rear-projection* posicionadas como ilustrado na Figura 1.14. Os dispositivos de entrada disponibilizados são uma *Wand* (um tipo de apontador 3D - ver Seção 2.2.2) e um óculos estéreo rastreado. O usuário permanecerá sentado durante o uso deste sub-ambiente.

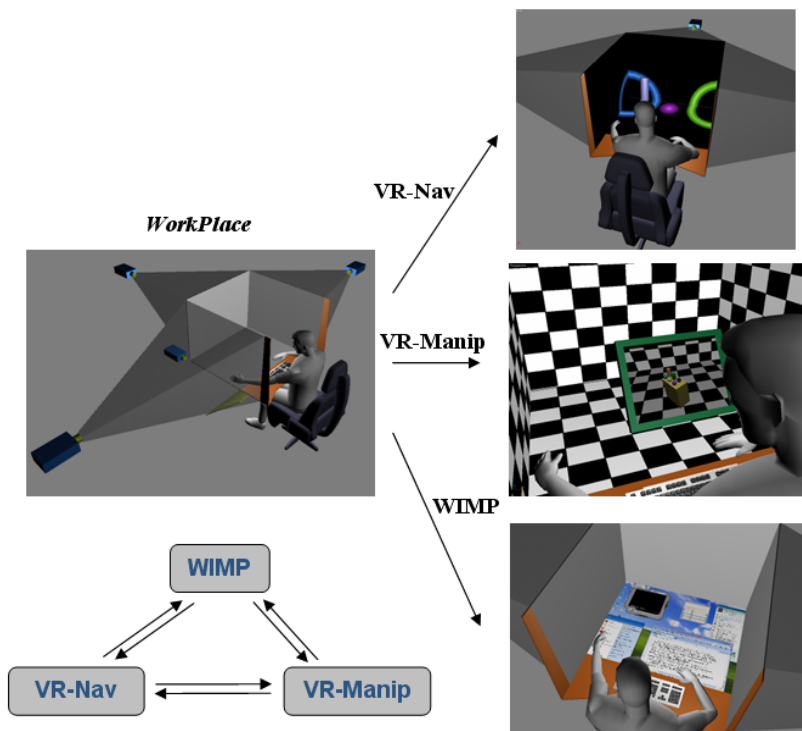


Figura 1.13: Visão geral do HybridDesk.

### 1.3.2

#### Realidade Virtual para Manipulação

Este sub-ambiente é utilizado para realizar tarefas de manipulação a curta distância em objetos virtuais 3D. Ele é inspirado no arranjo físico de trabalhos do tipo *reaching displays*. Possui como dispositivo de saída um monitor LCD que deve estar na frente do usuário como ilustrado na Figura 1.15. O dispositivo de entrada disponibilizado é uma *Wand* e um óculos estéreo rastreado. O usuário permanece sentado durante o uso deste sub-ambiente.

### 1.3.3

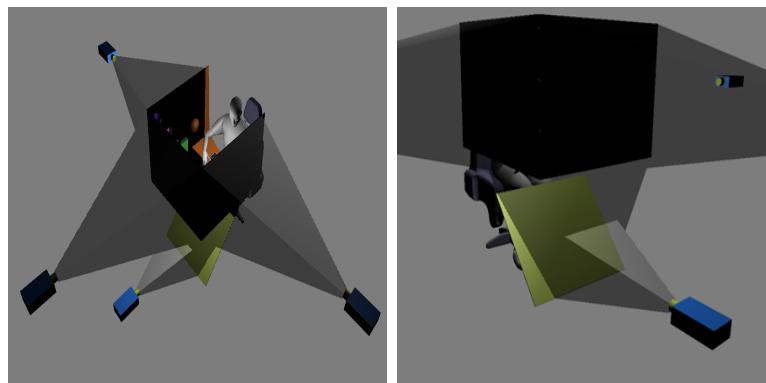
#### WIMP para tarefas convencionais de desktop

Este sub-ambiente é destinado para realizar as tarefas de *desktop* comuns aos sistemas de interface do tipo *WIMP*. Possui como *displays* as superfícies de projeção da *MiniCave* e o LCD (Figura 1.16) exibindo um *desktop* estendido ao longo delas, e como dispositivos de entrada o mouse e teclado.

### 1.3.4

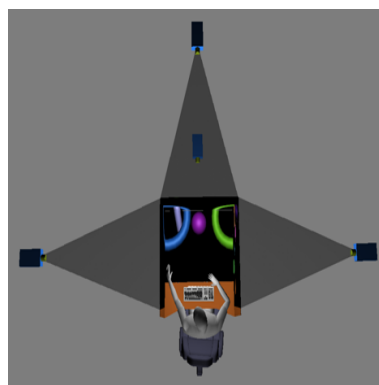
#### Transições entre os sub-ambientes

As transições são inicializadas por meio de eventos vindos da *Wand* nos sub-ambientes VR e por meio de *menus* de contexto no ambiente *WIMP*.



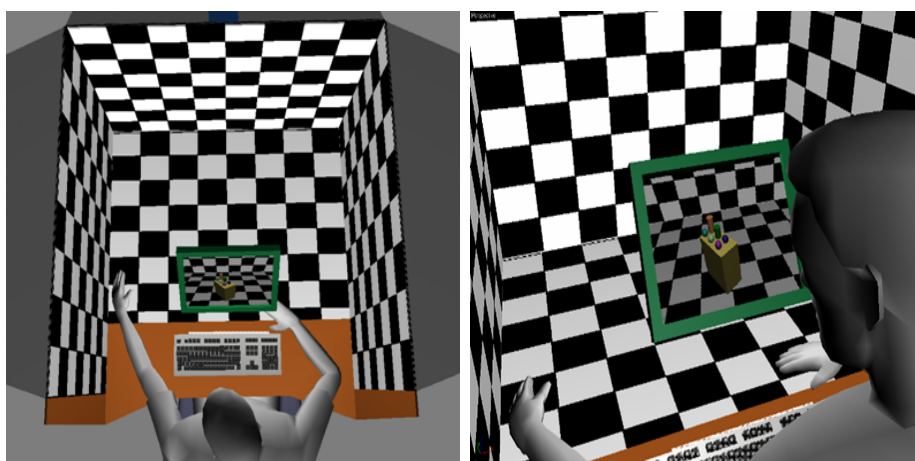
1.14(a): Visão Geral.

1.14(b): Espelho para projeção inferior.



1.14(c): Visão Superior.

Figura 1.14: MiniCave - Ambiente Imersivo para tarefa de navegação.



1.15(a): Visão Superior.

1.15(b): Visão do Usuário.

Figura 1.15: *Reachin Display* - Ambiente para tarefas de manipulação local.



Figura 1.16: WIMP.

Aspectos perceptivos, cognitivos e funcionais são levados em conta no *design* destas transições objetivando manter continuidade entre as interações entre os sub-ambientes. Entre os ambientes de manipulação e navegação há o uso de animações automatizadas para o deslocamento de objetos 3D de interesse entre os dois ambientes, assim como a mobilidade e troca de dispositivos de *input* e *output*.

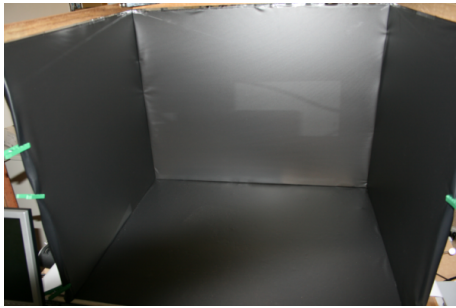
## 1.4 Contribuição

A contribuição deste trabalho está dividida em duas partes: primeiro no arranjo tecnológico para permitir a co-existência das interfaces; segundo nas inter-ligações entre esses ambientes através das transições baseadas nas regras da continuidade em ambientes de realidade mista. Além dessas duas contribuições, o trabalho em si apresentará uma experiência no desenvolvimento de um *workspace* de *HUI* e isto poderá servir como *guideline* para outros desenvolvedores. Nas subseções seguintes são detalhadas as contribuições de cada parte.

### 1.4.1 Arranjo Tecnológico

O arranjo tecnológico compreende a utilização de quatro telas de projeção (Figura 1.17(a)). Três telas estão apoiadas sobre uma restante. Anexada à superfície de projeção inferior há uma peça de madeira para posicionamento do teclado, mouse, outros instrumentos, e apoio para os braços. À frente do conjunto de telas há um sistema de trilhos que carrega um monitor do tipo LCD (Figura 1.17(b)). Este sistema permite que o monitor seja posicionado na frente do usuário utilizando as mãos. O monitor está posicionado no sistema de

trilho a uma altura que permita que os braços do usuário possam passar pelas laterais dele, mas ao mesmo tempo sem ficar acima da altura da cabeça. Um sistema de tracking ótico é integrado ao ambiente posicionando as duas câmeras em duas as hastes (Figura 1.17(c)). As hastes estão posicionadas na parte de trás do ambiente, entre as superfícies de projeção laterais e traseiras. Este posicionamento permite que os apontadores assim como a cabeça do usuário sejam visíveis pela câmera.



1.17(a): As 4 Telas de Projeção para o ambiente VR-Nav.



1.17(b): LCD usado para o ambiente VR-Manip.



1.17(c): Sistema de Tracking.

Figura 1.17: *Workspace* construído: HybridDesk.

O workspace *HybridDesk* é inovador porque apresenta uma composição de dispositivos diferentes para permitir a utilização de três ambientes interativos destinados a execução de tarefas com requisitos de hardware distintos. Estes requisitos foram definidos através de uma investigação na literatura sobre influência de dispositivos em tarefas de interação 3D e 2D. Este trabalho é também relevante porque considera aspectos importantes como continuidade e congruência dimensional no design do *workspace*.

#### 1.4.2

##### Transições entre ambientes

As transições entre os ambientes foram definidas baseando-se nas propriedades de continuidade, buscando manter o usuário consciente na realização de



uma tarefa global através da execução de sub-tarefas em ambientes distintos. A transição entre estes sub-ambientes foi explorada buscando manter vínculos perceptivos, funcionais e cognitivos entre eles. Tal preocupação é importante pois indica a possibilidade da utilização de várias interfaces (compostas por elementos de hardware e software diferentes) em conjunto de forma sequencial para atingir um objetivo.

## 1.5 Organização

A estrutura da tese está organizada nos seguintes capítulos:

No Capítulo 2 são apresentados os conceitos preliminares necessários para entender os trabalhos relacionados e as contribuições da tese. São abordados a classificação das Tarefas 3D, um apanhado geral do aparato tecnológico utilizado nestas tarefas, a teoria da Continuidade e Interfaces de Transição.

Os trabalhos relacionados relevantes sobre Interfaces Híbridas mencionando esforços na tentativa de misturar tecnologias diferentes são descritos no Capítulo 3. Trabalhos sobre a influência de dispositivos de entrada e saída em tarefas interativas também são relatados, assim como reflexões sobre eles. Nesse capítulo também são relatados trabalhos sobre características que estão sendo exploradas nos sistemas de realidade mista: Interfaces de transição e Continuidade. Há também referências sobre trabalhos que tratam a questão de anotação 3D em ambientes virtuais.

A concepção e implementação do *HybridDesk* são descritas no Capítulo 4. Lá são mencionados os motivos para a escolha dos dispositivos de entrada, saída, assim como o posicionamento dos mesmos no *workspace*. Estas decisões são relatadas mostrando o desenvolvimento ao longo da realização de dois protótipos. Além disso, há uma subseção sobre a implementação das transições entre os sub-ambientes de trabalho.

O Capítulo 5 descreve o processo de uma avaliação preliminar exploratória do ambiente de trabalho, relatando a metodologia utilizada e os resultados obtidos.

Finalizando, no Capítulo 6 são relatadas as conclusões obtidas, algumas discussões e a possibilidade de extensões através de sugestões para trabalhos futuros.

## 2

### Conceitos Preliminares

Nesta tese, um ambiente virtual 3D interativo é um ambiente tridimensional dinâmico gerado em tempo real por técnicas de computação gráfica. Este ambiente está vinculado a um processo interativo contínuo onde as ações do usuário recebem respostas (*feedbacks*) geradas pelo sistema que gerencia o ambiente virtual. Ao longo do trabalho, o termo ambiente virtual 3D interativo será referenciado por *VE - Virtual Environment*.

Nos *VEs* existem tarefas 3D (*3DT - 3D Tasks*) executadas através de técnicas de interação 3D (*3DIt - 3D Interaction Techniques*). Basicamente as tarefas estão de alguma forma relacionadas com operações de seleção, manipulação e navegação (ver seção 2.4). Diversas *3DIt* foram desenvolvidas para cada tipo de *3DT*. Uma *3DIt* a princípio é considerada um software vinculado a uma aplicação de natureza 3D e depende de um conjunto de informações de entrada para ser executada. Estas informações são capturadas por meio dos dispositivos de entrada. Apesar de uma *3DIt* aparentemente ficar fortemente vinculada aos dados provenientes dos dispositivos de entrada, também há uma influência dos dispositivos de saída (*displays*) em questões como usabilidade e desempenho (ver Capítulo 3 na seção 3.2).

Este capítulo inicia esclarecendo o conceito de espaços de imagem que servem para entender quais são os lugares onde o usuário interage durante a realização de uma tarefa 3D. Em seguida são apresentados os estilos de interação 3D comumente encontrados nas interfaces de usuário 3D (*3DUIs - 3D User Interfaces*). Algumas tecnologias de dispositivos de entrada e *displays* utilizadas em interação 3D são descritas, assim como uma descrição dos tipos de *3DTs* relevantes para este trabalho. Por fim, há um overview sobre interface de transição, continuidade e congruência dimensional.

#### 2.1

##### Espaços de Imagem e Estilos de Interação 3D

Estilos de interação são identificados na realização das *3DIts* e estão fortemente vinculados aos *displays* utilizados. Mas antes de descrevê-los, uma descrição dos lugares de atuação é necessária, ou seja, algumas formas de

espaços de imagem (BlundelS06, Blundel07) encontrados nos *displays* que exibem os gráficos 3D. A seguir há uma descrição sobre os tipos relevantes para esta tese:

***Planar Image Space (PIS):*** Compreende literalmente a superfície (a maioria sendo 2D) dos *displays*, onde as imagens são retratadas. Um exemplo é a tela do monitor convencional de um *desktop*. Apesar desta superfície possibilitar a transmissão de informações visuais de profundidade (*depth cues*) do tipo monocular, outras informações importantes como as dos tipos binoculares e paralaxe de movimento <sup>6</sup> não são retratadas. Exibindo somente *monocular depth cues*, os olhos convergem e acomodam (focam) somente na superfície do *display*, e não nos detalhes visuais (cor, textura, forma, iluminação, etc) dos elementos retratados na imagem que estariam em profundidades diferentes.

***Apparent Image Space (AIS):*** Este está relacionado com os *displays* que utilizam técnicas de estereoscopia (ver Apêndice A). Apesar das imagens serem geradas para uma superfície 2D, elas são percebidas como um volume 3D. Ou seja, as imagens estão fisicamente no plano de uma superfície 2D mas com o uso dos óculos estéreo, permitindo que informações binoculares cheguem ao cérebro, o aspecto tridimensional da imagem é percebido. Este aspecto 3D pode ser percebido estando para dentro do plano da imagem ou saindo dele. *Displays* com recursos de estereoscopia conseguem apresentar informações como paralaxe binocular e paralaxe de movimento. Mas problemas com acomodação e convergência ocorrem também. Além disso, podem ocorrer problemas com obstrução por objetos reais (ver Seção 2.3.1).

***Virtual Image Space (VIS):*** Refere-se ao uso de um sistema óptico (normalmente usando recursos de reflexão) para projetar uma imagem que parece retratar elementos visuais que estão atrás de um componente óptico. Por exemplo, os *displays* do tipo *reachin displays* (ver Seção 2.3.2) usam uma superfície semi-transparente como componente óptico, e possibilitam interações manuais atrás dela. Este fato traz a vantagem do aparente contato direto com objetos virtuais (atrás da superfície semi-transparente) sem a interferência na visualização deles.

Em (BlundelS06, Blundel07), outros espaços de imagens (*Physical 3-D Image Space* e *Free Image Space*) são descritos, mas são relacionados a *displays* do tipo volumétricos, os quais não serão abordados nesta tese.

Os estilos de interação identificados nas *3DUIs* são:

***Interação Indireta:*** Também conhecida por “Interação Transferida”,

<sup>6</sup>*Paralaxe de movimento* : Refere-se a uma dica de percepção de profundidade resultante do movimento da cabeça obtendo diferentes pontos de vista de um mesmo alvo de interesse.

consiste no uso de um dispositivo de entrada responsável pela movimentação de um objeto virtual no *VE*. Existe uma correspondência entre a movimentação deste dispositivo e a movimentação do objeto virtual, assim como acontece nas *2DUIs* de *desktop* em relação à movimentação do mouse e à movimentação do cursor, sendo que na situação das *3DUIs* há o acréscimo de mais uma dimensão. O objeto no *VE* serve como um *feedback* visual que mantém uma correspondência espacial e temporal.

**Interação Direta:** Neste estilo considera-se o uso do dispositivos de entrada literalmente na região do *AIS* e *VIS*. A liberdade de movimento do dispositivo é limitada pelo volume físico de interação e pelo aparente contato com os objetos virtuais que aparentam ser sólidos. Porém, para aparentar esta solidez seria necessário que o dispositivo fosse ou estivesse acoplado a algum outro dispositivo do tipo *force feedback*. Mas este estilo de interação pode levar a conflitos visuais como o explicado na propriedade *Masking* na seção de propriedades de *displays* visuais (Seção 2.3.1).

Blundel menciona mais um estilo de interação, porém é apropriado somente para *displays* volumétricos, e por isto está fora do escopo da tese.

## 2.2

### Dispositivos de Entrada

Os dispositivos de entrada são os responsáveis pela coleta de informações enviadas pelo usuário para posteriormente serem utilizadas nas *3DIts*. Antes de enumerar algumas tecnologias comumente utilizadas, propriedades relevantes precisam ser descritas.

#### 2.2.1

##### Propriedades

##### Graus de Liberdade - Degree of Freedom

*Degree of Freedom* (DOF) refere-se a uma forma independente de movimento que um corpo tem no espaço. Este movimento pode ser uma rotação ou uma translação ao longo de algum eixo. Um dispositivo de entrada pode ter mais de um DOF, e rastreadores de movimentos (*trackers*) tipicamente possuem 6 DOFs. Normalmente, o número de DOFs indica implicitamente o quão complexo é um dispositivo, e as possibilidades de seu uso nas *3DIts*.

##### Tipo de Dado

Os tipos de dados indicam quais são os modos de informação que são gerados e transmitidos por um dispositivo de entrada. Eles podem ser discretos,

contínuos ou uma combinação dos dois. Os discretos normalmente consistem em dados singulares, por exemplo, os do tipo booleano (verdadeiro e falso). Em aplicações interativas, estes dados são normalmente utilizados para ativar mudanças de estados. Os contínuos referem-se a geração de múltiplos valores de dados em relação às ações do usuário, por exemplo, as coordenadas espaciais 3D (x,y,z) enviadas por um rastreador de movimento ou até dados matriciais.

### **Affordances**

*Affordances* de um dispositivo de entrada referem-se às possibilidades de ações que são percebidas ao observá-lo. No caso das aplicações interativas 3D, uma boa usabilidade pode surgir como resultado de um bom casamento entre um dispositivo que “*affords*” um tipo de interação que faz parte de uma metáfora de interação implementada por uma *3DIt*. Por exemplo, em um jogo virtual de tênis, onde o usuário tem a possibilidade de jogar contra um adversário virtual através de um *display* grande, provavelmente uma raquete de tênis (adaptada com sensores de rastreamento de movimento) seria um ótimo dispositivo ao invés de um outro qualquer que fornecesse também as mesmas informações de movimento.

### **Ergonomia**

Questões ergonômicas são importantes para usabilidade de um dispositivo, por exemplo, peso, presença de cabos, conforto, restrição de movimentos, entre outras.

#### **2.2.2**

### **Tecnologias**

#### **Joysticks**

São dispositivos que já acompanham o *desktop* há um bom tempo e ainda são úteis para aplicações 3D. Contêm uma combinação de eventos contínuos (posicionamentos 2D) mais um conjunto de componentes com eventos discretos, como botões, entre outros.

#### **Trackers**

Em muitas aplicações 3D é importante ter informações sobre a localização espacial 3D de objetos reais. Por exemplo, para se conseguir a percepção de profundidade através do movimento de paralaxe (ver Apêndice A) é necessária a localização da cabeça do usuário durante a interação em um *VE*. Para isto, existem os sistemas de rastreamento 3D ou simplesmente *Trackers*, que contêm

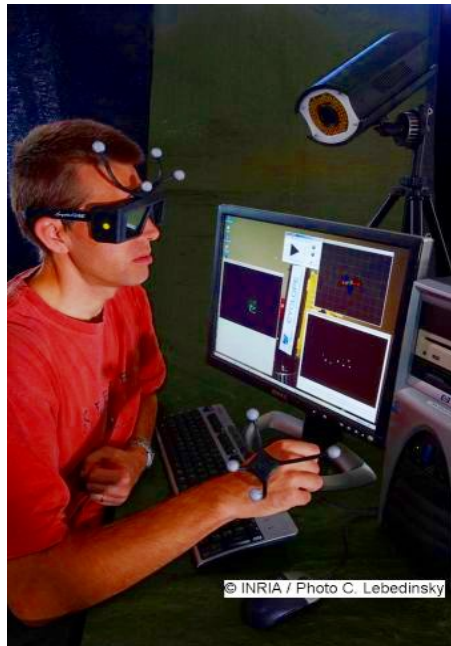


Figura 2.1: *CYCLOPE*<sup>7</sup> optical tracker.

soluções compostas por um ou mais pontos de rastreamento, os quais fornecem as posições 3D. Estes pontos de rastreamento podem ser fixados em objetos de interesse, como por exemplo, ferramentas de interação e óculos. Atualmente existem diferentes tecnologias de rastreamento, as mais comuns são os *trackers* eletromagnéticos, acústicos, óticos (Figura 2.1) e inerciais.

### Wands



Figura 2.2: *Wanda*<sup>8</sup>.

As *Wands* são considerados dispositivos que contêm eventos contínuos com informações de posicionamento 3D e eventos discretos resultantes de botões. São utilizados para interações espaciais utilizando movimentos no espaço, por exemplo, em tarefas de navegação e manipulação. Estes dispositivos também são às vezes classificados como 3D mice, ou seja, uma forma de mouse 3D. Um dos primeiros foi a *Wanda* (Figura 2.2) desenvolvido pela *Ascension*

<sup>7</sup>[www.inrialpes.fr/sed/6doftracker](http://www.inrialpes.fr/sed/6doftracker)

<sup>8</sup>[www.inition.co.uk](http://www.inition.co.uk)

*Technology* e utiliza internamente um sensor de rastreamento de um tracker eletromagnético.

## Luvas



Figura 2.3: *Data Glove 5 Ultra*<sup>9</sup>.

Às vezes uma informação mais detalhada sobre a mão é importante para uma 3DUI, por exemplo, em técnicas de interação que utilizam o movimento da mão e dos dedos para movimentar uma mão virtual. Para isto, existem dispositivos na forma de luva que são sensitivas à dobra dos dedos e ao contato entre as pontas dos dedos (Figura 2.3).

## 2.3 Displays

A percepção de um *VE* está diretamente ligada ao que é apresentado por um sistema computacional. O sistema de percepção humano compreende cinco sentidos que enviam informações para o cérebro. Normalmente três (visão, audição e tato) desses cinco sentidos são estimulados pelo sistema computacional por meio da geração de estímulos sintéticos. O escopo desta tese se restringe à utilização de dispositivos que enviam estímulos visuais, logo não serão abordadas informações relacionadas aos demais sentidos.

No contexto dos *VEs*, os *displays* visuais são responsáveis por estimular o canal visual criando efeitos visuais que façam os usuários compreender um *VE* tridimensionalmente, ou seja, entender a relação de profundidade entre os elementos contidos neste ambiente. Esta relação de profundidade é inferida através de dicas visuais (*depth cues*) como: perspectiva, iluminação, sombra, oclusão, paralaxe de movimento, entre outros (BowmanKLP05, ShermanC02, BlundelS06) (ver Apêndice A).

Os *displays* para *VE* estão de alguma forma ligados com o termo imersão. É comum encontrar este termo vinculado com outro chamado presença. A

<sup>9</sup>www.5dt.com

origem do termo presença está relacionada com o conceito de tele-presença que foi inicialmente apresentado por Marvin Minsky (Minsky80) para descrever a sensação que alguém teria operando uma máquina remotamente, ou seja, a sensação de estar em um lugar diferente através de um sistema de tele-operação. Este conceito é aplicável no contexto de *VE*, mas para isto assume-se como mediadores desta sensação os equipamentos computacionais responsáveis por envolver o usuário tecnologicamente criando uma sensação de estar em um *VE*.

Sobre a relação entre imersão e presença, existem várias definições e até hoje não há um consenso sobre o significado dos dois. Desta forma, ao longo do texto será adotada a definição dada por Slater (Slater03) que caracteriza imersão de forma objetiva, descrevendo-a como o aparato tecnológico que dá suporte à sensação de presença, ou seja, algo que pode ser mensurado independente dos resultados da experiência virtual gerada. Para o termo presença são atribuídos os aspectos subjetivos resultantes na experiência virtual.

Em (Kjeldskov01) foi proposta uma classificação de *displays* utilizando imersão como critério. Duas categorias foram criadas: os Totalmente imersivos e os Semi-imersivos. Os primeiros são aqueles que têm *Field of View (FOV)* (ver Seção 2.3.1) disponibilizado em qualquer direção (CAVE de 6 lados, *HMDs*, *Booms*), enquanto os do segundo tipo não disponibilizam em todas as direções (Monitor, *WorkBenchs*, *Panoramic Screens*, CAVE 3-5 lados). No estudo conduzido em (SteedP05) os *displays* foram divididos em *Head Mounted Displays (HMDs)* e *Immersive Projection Technologies (IPT)*. Neste trabalho será adotada a classificação encontrada em (ShermanC02), onde os *displays* estão divididos em três tipos: *Stationary Displays*, *Head-based Displays* e os *Hand-based Displays*. Os primeiro tipo compreende aqueles que estão fixos em um lugar. Os *displays* do segundo tipo são móveis e referem-se àqueles que de alguma forma estão fixos à cabeça do usuário, conseqüentemente permanecem numa posição fixa em relação aos olhos; normalmente são dispositivos na forma de capacetes. No último tipo estão *displays* móveis também, mas neste caso acompanham as mãos do usuário, por exemplo, o BOOM (ver Seção 2.3.4). O motivo da escolha por esta classificação foi a abrangência de *displays* que ela agrega, mas mesmo assim ainda podem surgir algumas confusões por haver *displays* que misturam características de mais de um tipo.



### 2.3.1

#### Propriedades

O conhecimento das propriedades dos *displays* é importante e pode influenciar na escolha de uma *3DIt*, assim como no grau de imersão. A seguir são listadas algumas propriedades relevantes para interação 3D (ShermanC02, BowmanKLP05, Kjeldskov01, BlundelS06):

**Cor, Brilho e Contraste (*Display Quality*):** Basicamente as opções sobre cores variam entre dois tipos: Monocromáticos (Preto e Branco) e os Tricromáticos (Coloridos). Estes últimos possuem três canais de cores e a combinação delas resulta no total de cores de disponibilizadas. Este total é influenciado pela profundidade de cor de cada canal: 4, 8, 16, 24 e 32 *bits*. O Contraste é a medida da diferença relativa entre claro e escuro. Quanto maior a faixa de contraste de um *display* mais fácil será distinguir diferentes elementos exibidos. O Brilho corresponde a uma medida da quantidade geral de luz emitida. É sempre desejável um alto brilho, pois existem tipos de *display* onde a quantidade de brilho é fundamental, como os projetores e alguns do tipo *AR See-through*. De forma geral todas essas propriedades influenciam a qualidade das imagens geradas pelas *engines* gráficas, e são importantíssimas para atingir imagens foto-realistas com convincentes *depth cues*. Alguns estudos relatam a influência da qualidade visual na sensação de imersão durante experiências virtuais (*Virtual Experience - VExp*).

**Resolução Espacial:** Compreende a quantidade de *pixels* contidos na direção vertical e horizontal de um *display*. Quanto maior a resolução mais detalhes são exibidos, em compensação, mais processamento computacional é necessário.

**Field of View - FOV:** É definido como a abertura máxima (número máximo de graus) de ângulo de visão que pode ser visualizado instantaneamente em um *display*. O *FOV* horizontal de um ser humano é aproximadamente 200 graus, com 120 graus na área de sobreposição binocular, ou seja, na área em que o *FOV* horizontal dos olhos se interceptam.

**Field of Regard - FOR:** É a quantidade de espaço físico (medida em graus de ângulos de visão) envolvendo o usuário. Esta quantidade de espaço físico corresponde à área onde estão sendo exibidas as imagens do *VE*. Em outras palavras, o quanto espacialmente o usuário é envolvido por imagens. Este não deve ser confundido com *FOV*, pois o *FOV* está relacionado com a influência visual em um instante de tempo, enquanto o *FOR* está vinculado ao espaço físico potencial que influencia visualmente o usuário. Por exemplo, pode acontecer que um dispositivo propicie um *FOV* de 30 graus mas tenha um *FOR* de 360, ou seja, a cada instante de tempo o usuário só pode visualizar

30 graus de um *VE* mas ele tem a possibilidade de visualizar os 360 graus em volta utilizando este *FOV* de 30. Um conceito muito parecido com o *FOR* é o *Available Field Of View - AFV*, descrito em (Kjeldskov01).

**Geometria:** Refere-se ao formato da superfície do *display* em que as imagens estão sendo exibidas. Na maior parte são geometrias planas representadas por superfícies no formato retangular mas há também aquelas com superfícies curvas como os *HemiSpherical Displays* ou *Panoramical Screens*. Às vezes, a geometria pode influenciar na qualidade da imagem exibida causando, por exemplo, o aparecimento de falhas visuais como buracos e distorções.

**Taxa de Quadros:** Corresponde à taxa em que as imagens são exibidas, e também é chamada *frame rate*. A unidade de medida correspondente é o números de quadros por segundo (*FPS - Frames Per Second*). Esta mesma medida pode ser expressa como *Hertz*, que é uma unidade de frequência para representar ocorrências por segundo. Um *FPS* acima de 30 é muito bom, uma taxa de 15 *FPS* é pouco aceito, e abaixo disso o cérebro começa a não mais perceber o efeito de movimento contínuo, e uma sequência de imagens torna-se evidente. Na literatura, esta propriedade também é encontrada com o nome Resolução Temporal (*Temporal Resolution*).

**Opacidade:** Também nomeada como *Real World Occlusion*, esta propriedade refere-se à capacidade do *display* em esconder, obstruir ou incluir a visão do mundo real. Os *HMDs* para *VR* escondem a visualização do mundo real. Os *displays* do tipo *Stationary*, como os monitores e a *CAVE*, obstruem parcialmente a visualização do mundo real. No caso de uma *CAVE* de 6 lados, ainda sim há uma obstrução da visão do mundo virtual porque o usuário pode ver o próprio corpo. Os *HMDs* para *AR* do tipo *See-through* fornecem uma visão combinada do mundo real com elementos virtuais, desta forma, eles incluem o mundo real.

**Masking:** Esta propriedade relaciona a obstrução de objetos reais por virtuais e vice-versa durante as interações. Normalmente estes objetos reais referidos são ferramentas de interação como *Wands* e/ou próprio corpo do usuário (frequentemente as mãos e braços).

No caso dos *Stationary Displays*, quando um objeto real, na frente da superfície, obstrui a visualização de um objeto virtual, duas situações importantes devem ser consideradas: a primeira quando o objeto virtual está realmente posicionado “virtualmente” atrás do objeto real, desta forma, a obstrução é válida; na segunda situação ocorre o inverso, o objeto virtualmente estaria posicionado na frente do real (entre os olhos do usuário e o objeto real), logo não poderia ocorrer a obstrução mas ela ocorre. Neste caso, a interação se dá com objetos virtuais que estão em paralaxe negativo (ver Apêndice A),

causando a impressão que estão saltando da superfície do *display*, e quando um objeto causa obstrução na visualização da imagem, ocorre um cancelamento do efeito da formação do objeto virtual que estaria na frente do objeto real. O objeto real cria uma região “vazia” chamada de “penumbra estereoscópica” que consequentemente destrói o efeito estereoscópico (BlundelS06).

Este problema é parcialmente contornado com tecnologias de *display* do tipo *See-through*, por exemplo um *HMD* para *AR* ou alguns tipos de *reachin displays*. Nestes casos é possível sobrepor o objeto real com um objeto virtual. Porém, deve-se ter o cuidado na situação inversa, ou seja, quando o objeto virtual estiver atrás do objeto real. Uma medida para contornar isto é não desenhar o objeto virtual; contudo é necessário o rastreamento da posição e forma do objeto real durante a interação.

**Light Transfer:** Descreve a forma como a luz é transferida para a superfície do *display*. Algumas formas são: projeção-traseira (*rear-projection*), projeção-frontal (*front-projection*), direto na retina através de *lasers*, e o uso de óptica através de jogos de lentes. A forma como a luz é transferida pode influenciar a escolha das tarefas de interação limitando a escolha de técnicas, por exemplo, para superfícies utilizando *front-projection*, o uso de *3DIts* para manipulação direta não funcionaria bem pois a proximidade das superfícies provocaria a geração de sombras e, consequentemente, problemas com a geração de efeitos de estereoscopia.

**Ergonomia:** Há várias características ergonômicas de um *display* que podem influenciar a interação 3D, causando o desvio da atenção do usuário resultando em problemas como restrição de movimentos e cansaço. Entre elas estão peso, acomodação física, presença de cabos, se é necessário carregar o *display*, presença de superfícies de apoio, entre outras.

**Latência Gráfica:** Às vezes é visível um certo atraso entre os movimentos do usuário e o *feedback* visual em resposta a estes movimentos. Esta propriedade não está relacionada com o *Taxa de Quadros* do *display*, pois as imagens podem estar sendo atualizadas corretamente. Por exemplo, um *HMD* com *head-tracking* permite que imagens sejam geradas de acordo com os movimentos da cabeça, entretanto, a latência pode ocorrer caso o usuário mova a cabeça e a atualização do ponto de vista ocorra alguns segundos ou milissegundos depois. Esta propriedade não está diretamente relacionada com o *display* em si, mas com o conjunto de elementos (dispositivo de entrada, poder de processamento da CPU, engine gráfica, etc) que compõem o *workspace*; de qualquer forma está sendo mantida aqui como informação adicional.

### 2.3.2 Stationary Displays

#### Monitores e FishTank

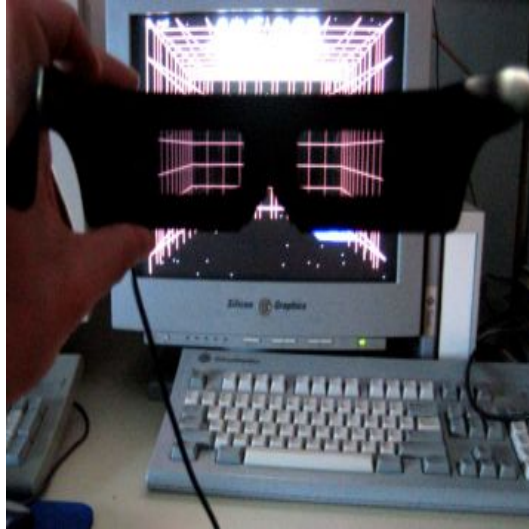


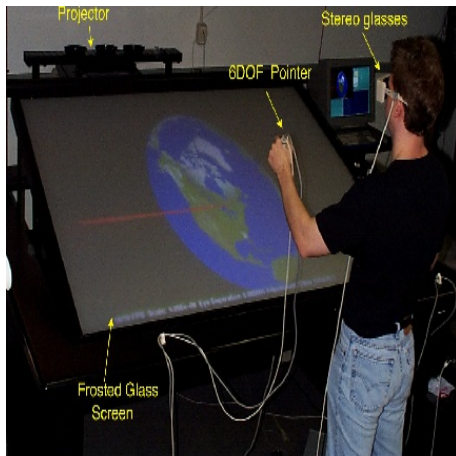
Figura 2.4: Monitor CRT com estereoscopia através do uso de óculos *estéreo*<sup>10</sup>.

Os monitores convencionais do tipo CRT (*Cathode Ray Tube*) são soluções baratas normalmente utilizadas para *3DIt*. São obtidos a custos relativamente baixos e oferecem estereoscopia em uma superfície plana através de óculos estéreoscópicos (Figura 2.4). O efeito estéreo é conseguido graças às altas taxas de *refresh* (em torno de 100 a 120 Hz). O uso conjunto desses óculos com o *head-tracking* permite caracterizar um *setup* chamado “*FishTank*”. Este nome é inspirado na ideia de olhar um aquário através de um vidro, ou seja, o usuário pode mover a cabeça pra cima, para baixo e para os lados para ver o que tem dentro do aquário mas não pode realmente “entrar” nele. A vantagem principal nesses monitores é o seu baixo custo, entretanto há a desvantagem por não ser totalmente imersivo e por ter um reduzido FOR. A resolução e qualidade deste *display* são boas. Como é possível obstruir a superfície destes *displays* com objetos reais, problemas relativos ao *masking* podem ocorrer. Para os monitores do tipo *LCD* a estereoscopia ainda não está bem disponibilizada devido à baixa taxa de atualização das imagens (*refresh rate*) ainda presente nesta tecnologia.

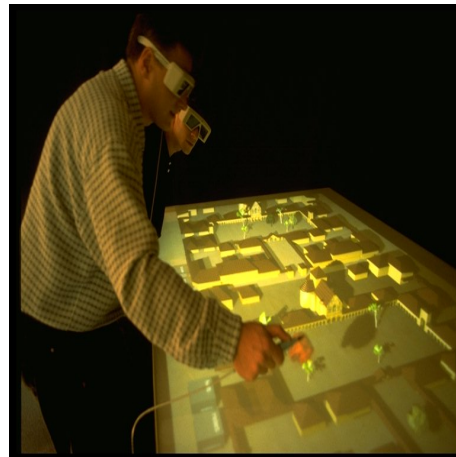
Ao longo do trabalho o termo monitor será utilizado como sinônimo para o monitor convencional sem o uso de estereoscopia, enquanto *FishTank* significará o monitor acrescido de estereoscopia e *head-tracking*.

<sup>10</sup><http://geektechnique.org/projectlab/851/making-3d-glasses-for-a-silicon-graphics>

## Workbench Displays



2.5(a): *Perceptive Workbench*<sup>11</sup>.



2.5(b): *Responsive Workbench*<sup>12</sup>.

Figura 2.5: *Workbenches*.

As *Workbenches* são tecnologias baseadas em projeções e proporcionam um ambiente parcialmente imersivo de *VR*. Estereoscopia e *head-tracking* são normalmente utilizados em conjunto. As projeções podem ser posicionadas horizontalmente, verticalmente, uma composição das duas, ou em um ângulo específico para suprir a necessidade de uma aplicação particular (Figura 2.5). A qualidade visual é similar à obtida nos monitores mas com a vantagem de uma resolução e área física maior. Para tarefas de navegação envolvendo *3DIts* baseadas em locomoção física, elas não são apropriadas, uma vez que os usuários têm pouca mobilidade. Assim como os monitores, também têm um FOR pequeno e estão sujeitas ao uso de *masking* dada a possibilidade de obstrução da visualização por objetos reais.

## Hemispherical Displays

Esta classe de *display* utiliza uma lente grande angular na frente de um projetor para permitir cobrir uma superfície na forma de uma semi-esfera. O usuário permanece sentado na frente desta semi-esfera interagindo com mouse, teclado e *3D pointers* (Figura 2.6). A área física de projeção é bem maior que um monitor convencional, proporcionando uma imersão parcial. Além disso, o brilho proporcionado por uma *front-projection* é alto. Alguns *displays* deste tipo também usam projeções do tipo *back-projection*. Entretanto, podem ocorrer problemas como a geração de sombras e quebra da ilusão de

<sup>11</sup>[http://mrl.nyu.edu/~perlin/courses/spring2006/shadowwalls/The Perceptive Workbench.htm](http://mrl.nyu.edu/~perlin/courses/spring2006/shadowwalls/The_Perceptive_Workbench.htm)

<sup>12</sup><http://graphics.stanford.edu/projects/RWB/>



Figura 2.6: *Hemispherical Displays - VisionStation*<sup>13</sup>.

estereoscopia quando o usuário aproxima-se muito do *display*, devido ao uso da *front-projection*. Este problema de proximidade dificulta a execução de algumas *3DI*t envolvendo movimentação de braços e mãos, por exemplo, na tentativa de uma seleção mais direta de um objeto virtual próximo à superfície do *display*. Por causa da geometria ser curvilínea, às vezes, distorções radiais são percebidas.

### Surround-Screen Displays - CAVE

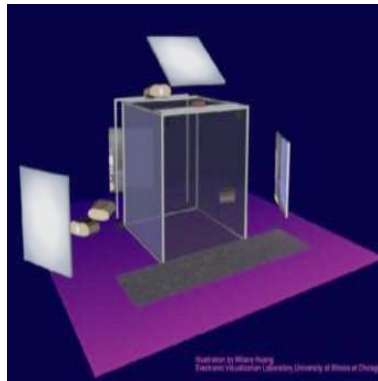


Figura 2.7: *Cave*<sup>14</sup>.

Consistem na ideia de envolver o usuário com superfícies grandes de projeção. Normalmente são caracterizados pela existência de três ou mais superfícies, cada uma contendo em geral *rear-projections* para eliminar problemas com sombras durante as interações. Em 1992, foi desenvolvido o primeiro *display* deste tipo que recebeu o nome *CAVE* e consistiu em 4 superfícies:

<sup>13</sup><http://www.est-kl.com/projection/elumens/vs.html>

<sup>14</sup><http://www.evl.uic.edu/pape/CAVE/>

uma frontal, duas laterais e uma no chão (Figura 2.7). Efeitos de estereoscopia, *head-tracking* e interação com dispositivos como *wands* são normalmente encontrados no *setup* de uma CAVE.

A vantagem principal da CAVE está na imersão causada pelo elevado estímulo visual proveniente das grandes superfícies de projeção. O arranjo físico das superfícies proporciona um elevado *FOV* que permite o uso da visão periférica. Um FOR de 270 graus normalmente é atribuído para estes setups mais comuns envolvendo 3 superfícies. Uma CAVE ideal com 6 lados (projeções frontal, traseira, as duas laterais, a de cima e a de baixo) apresentaria um FOR de 360 graus na vertical e lateral. Em ambos os casos, a CAVE não isola o usuário totalmente do mundo real (opacidade), pois mesmo envolvido totalmente ou parcialmente pelas superfícies, o usuário ainda consegue ver o próprio corpo. Conseqüentemente, isto leva à possibilidade do uso de *masking* durante a execução de algumas *3DIt*.

Entre as desvantagens estão: o custo elevado devido à quantidade de projetores e superfícies; necessidade de um espaço físico grande para ajustar os projetores (em boa parte das soluções são utilizados espelhos para reduzir o consumo de espaço). Como as imagens nas superfícies são geradas somente para um único ponto de vista, somente um usuário tem os movimentos da cabeça rastreado; quando há mais usuários dentro do ambiente, os demais enxergarão somente o ponto de vista do usuário rastreado.

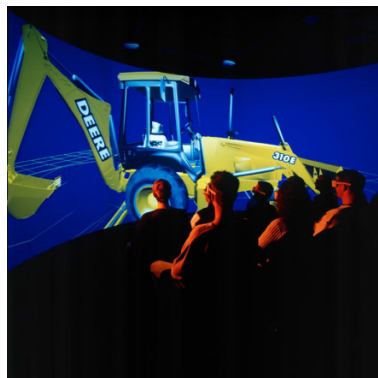
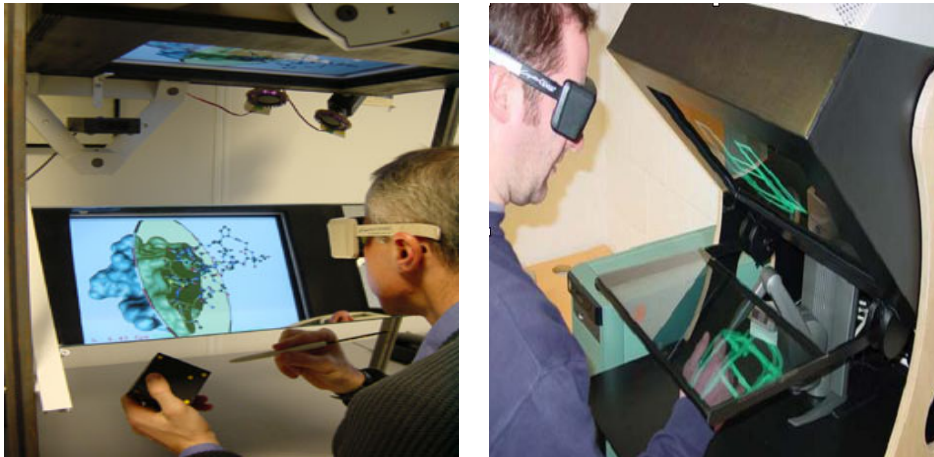


Figura 2.8: *Panoramic display* (Kjeldskov01).

Há um tipo de *Surround-Screen Display* chamado *Panoramic display* que compreende telas curvas semelhantes a um semi-cilindro (Figura 2.8). Propiciam um *FOV* entre 160 e 180 graus. Basicamente tem algumas similaridades com as CAVES de 3 lados (Frontal e duas laterais) nos quesitos de imersão relacionados a *FOV* e *FOR*, assim como as suas desvantagens.



2.9(a): Setup utilizando espelho - *Personal Space Station*<sup>15</sup>.

2.9(b): Setup utilizando superfície semi-transparente.

Figura 2.9: *Reachin Displays* (MulderL02).

### Reachin Displays

Partem da ideia de criar a ilusão de que o conteúdo do *VE* está ao alcance das mãos. Basicamente o usuário enxerga o reflexo de um *display* através de um espelho ou de alguma superfície semi-transparente, e interage diretamente com o conteúdo virtual posicionando as mãos atrás da superfície refletora (MulderL02)(Figura 2.9). Algum tipo de *Tracker* é frequentemente utilizado para tarefas de manipulação local. No caso da superfície refletora ser um espelho semi-transparente, este *display* assume a característica de não obstrução do mundo real, comum aos *displays* de *AR* do tipo *See-through*. Neste caso, as mãos e as ferramentas de interação são visualizadas em conjunto com os objetos virtuais, e o uso de *masking* é parcialmente resolvido, necessitando apenas o tratamento quando objetos reais estiverem na frente dos virtuais. No caso da superfície ser apenas um espelho, ocorre a oclusão total da visualização das mãos e ferramentas de interação, desta forma, o *masking* não é usado. Pode-se dizer que os *Reachin Displays* são uma mistura de características dos *HMD* e dos monitores convencionais.

#### 2.3.3

### Head-based Displays

#### Head-Mounted Displays

Os *HMDs* basicamente são compostos por um capacete contendo internamente dois *displays* pequenos do tipo *CRT* ou *LCD* com resoluções razoáveis,

<sup>15</sup><http://homepages.cwi.nl/~robertl/pss/pss.html>





Figura 2.10: *HMD - Head-Mounted Display.*

e um sistema ajustável de lentes (Figura 2.10). Este par de *displays* internos permite o uso de estereoscopia, uma vez que garante uma imagem diferente para cada olho. Os dispositivos de interação utilizados com um *HMD* frequentemente são mouses 3D, *wands* e luvas. Tecnologias de rastreamento normalmente são acopladas aos *HMDs* para permitir *head-tracking*. O *FOR* de 360 é sem dúvida a grande vantagem de um *HMD* pois permite uma imersão completa do usuário. Para tarefas colaborativas imersivas, os *HMDs* apresentam a vantagem de permitir que vários usuários estejam em um mesmo ambiente virtual, sendo que cada um tem o seu ponto de vista corretamente calculado e rastreado, o que não acontece em alguns sistemas de projeção onde o ponto de vista exibido é de apenas um usuário.

As desvantagens mais pertinentes nos *HMDs* são: *FOV* limitado (variando entre 30 e 60 graus normalmente) podendo causar distorções na percepção do tamanho e distância de objetos; fadiga causada pelo peso do equipamento durante períodos longos de uso (ergonomia); o isolamento visual do mundo real (Opacidade), sendo necessário ter o cuidado com o problema da colisão com objetos físicos durante tarefas envolvendo muita mobilidade física. Não existe o problema de *Masking* pois todo conteúdo visualizado é virtual. Neste caso, representações das ferramentas de interação são geradas virtualmente.

Todas as características acima mencionadas sobre os *HMDs* estão particularmente direcionadas para aplicações de *VR*. Os *HMDs* para este tipo de aplicação serão referenciados no texto como *HMDs-VR*. Porém os *HMDs* também são utilizados para aplicações *AR*, *HMDs-AR*, uma das formas é por meio do uso de câmeras. Este tipo *AR* é conhecida como *AR* do tipo *Video See-Through*, ou seja, a visualização do mundo real é intermediada por uma câmera. Alguns tipos de *HMD* já vêm de fábrica com câmeras acopladas (ver Figura 2.11(b)), entretanto é comum adaptar *HMDs* sem câmeras fixando-se uma ou duas câmeras na sua parte frontal.



2.11(a):  
SAAB AddVisor 150<sup>16</sup>.



2.11(b): Trivisio AR-vision HMD<sup>17</sup>.

Figura 2.11: HMDs para Realidade Aumentada.

Outra forma de *AR* usando *HMDs* se faz por meio de óptica (*Optical See-Through*) através de reflexões dos *displays* internos em superfícies transparentes (ver Figura 2.11(a)). Neste caso, o usuário enxerga o mundo real sobreposto por elementos virtuais projetados na superfície transparente.

### 2.3.4

#### Hand-based Displays

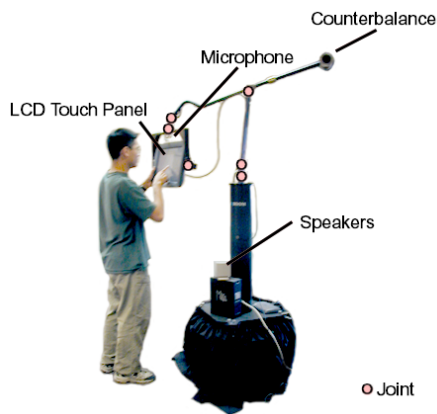
#### Arm-Mounted Displays

Consistem no uso de um *display* fixo a uma armação. Esta armação permite uma certa mobilidade em uma área ao redor dela, e contém um contra-peso para o usuário não precisar realmente “carregar” o *display*. Este contra-peso facilita a fixação de *displays* binoculares semelhantes aos *HMDs*, monitores com alta definição, entre outros portáteis. Normalmente, a própria armação é um *tracker* articulado e permite determinar a posição e orientação do *display* fixado.

O exemplo mais comum de um *Arm-Mounted Display* é o *BOOM - Binocular Omni-Orientation Monitor* (Bolas94) (Figura 2.12(b)). O *BOOM* tem qualidades visuais similares aos *HMDs* e os mesmos problemas com *FOV* mas tem uma vantagem, do ponto de vista ergonômico, porque o usuário não precisa vestir o capacete. Uma variação chamada *BOOM-Chameleon* (TsangFKKB02) (Figura 2.12(a)) foi desenvolvida utilizando um *display LCD*. Esta abordagem permitiu o uso da metáfora de uma janela para o mundo 3D. De um modo geral o *FOV* dos *Arm-Mounted Displays* fica dependente do tipo de *display* anexado, mas pode-se dizer que nos casos citados acima há uma variação entre 30 e 60 graus.

<sup>16</sup>[www.est-kl.com/hardware/hmd/saab/addvisor150.html](http://www.est-kl.com/hardware/hmd/saab/addvisor150.html)

<sup>17</sup><http://www.inition.co.uk/inition/products.php>



2.12(a): *BOOM-Chameleon* (TsangFKKB02).



2.12(b): *BOOM* (Bolas94).

Figura 2.12: *BOOMs*.

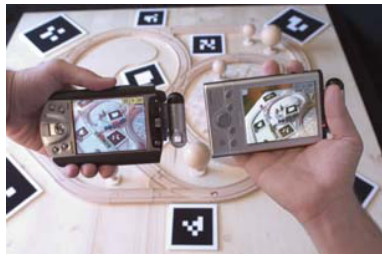
Algumas desvantagens são notadas para tarefas de navegação envolvendo locomoção física devido à restrição de movimento em volta da armação. Outra desvantagem acontece para as tarefas com manipulação bimanual porque o usuário precisa utilizar pelo menos uma das mãos para segurar o *display*. No caso do *BOOM-Chameleon*, por utilizar um *LCD*, a estereoscopia fica inviável.

### Hand-Held Display

Estes compreendem dispositivos que são realmente carregados com as mãos. A grande parte são dispositivos pequenos (celulares, palmtops, tablets, notebooks, entre outros). Alguns possuem alguma câmera e possibilitam uma forma de *AR* do tipo *Video See-Through* (Figura 2.13(a)). Entretanto, aplicações de *VR* também são utilizadas de forma similar ao *BOOM-Chameleon* (TsangFKKB02), ou seja, usando a metáfora de uma janela 3D para o *VE*. Em ambos os casos, os pontos de vista das câmeras virtuais são gerados seguindo a orientação e posição dos dispositivos, os quais frequentemente estão nas mãos dos usuários.

Porém, existem também aqueles que possuem armações que permitem o posicionamento do display junto aos olhos do usuário (Figura 2.13(b)). Estes lembram os *HMD* porém não são vestidos e sim carregados.

De forma geral, os *Hand-Held Displays* compartilham as vantagens dos *Arm-Mounted Displays* com o acréscimo de mais mobilidade física, o que propicia uso em tarefas de locomoção. Entretanto, também têm a desvantagem de deixar ocupada pelo menos uma das mãos, o que impossibilita interações bimanuais. Questões referentes a fadiga podem surgir dependendo do peso e



2.13(a): *PalmTop Video See-Through* (WagnerS06).



2.13(b): *HandHeld* semelhante a um HMD (BillinghurstKP01).

Figura 2.13: *HandHelds Displays*.

tamanho do display.

## 2.4 Tarefas e Técnicas de Interação 3D

Neste trabalho, a classificação para as *3DT* encontrada em (BowmanKLP05) será adotada, e compreende:

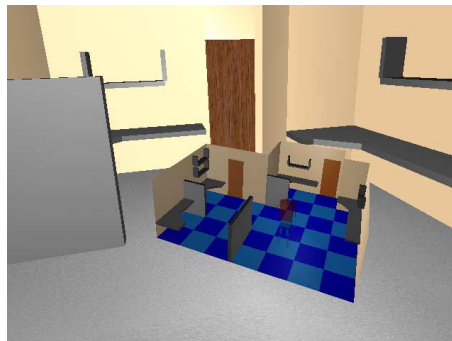


Figura 2.14: WIM - *World-in-Miniature* (PauschBBW95).

**Navegação (*Travel*):** São aquelas que permitem o deslocamento de um ponto do *VE* para outro. A navegação não deixa de ser uma forma de manipulação, pois consiste em manipular uma câmera virtual ou o ponto de vista do usuário dentro do *VE*. Um exemplo claro disso está na *3DIt World-in-Miniature* (*WIM*) (PauschBBW95) (Figura 2.14). Na *WIM* o usuário movimenta-se através de um *avatar* dentro de uma representação reduzida do *VE*. Este *avatar* é uma representação do próprio usuário dentro do *VE*. Outras *3DIts* consistem na indicação de um objeto no *VE*, geralmente através de um apontamento. Em seguida, a *3DIt* fica responsável por posicionar a câmera virtual a uma certa distância do objeto apontado. Por exemplo, na *3DIt*

*Zoomback* (ZelevnikLAK02) esta distância são dois pés (*two feet*), enquanto na *3DIt LaserGrab* (ZelevnikLAK02) esta distância corresponde à distância relativa entre a cabeça e a mão do usuário. Além disso, algumas *3DIt* assumem a manipulação da câmera virtual baseando-se em metáforas, por exemplo, a “*eyeball-in-hand*”, “*flying*” e “*scene-in-hand*” (WareJ88, WareO90).

**Wayfinding:** Relacionado com a tarefa de navegação está um processo cognitivo responsável por criar uma representação mental do ambiente virtual, também conhecido como mapa mental. Esta representação é criada através da exploração do *VE* e observação dos elementos contidos nele. O *wayfinding* compreende este aspecto cognitivo da tarefa da navegação, e existem meios para estimular este processo através da inclusão de ferramentas informativas do tipo: localização de pontos chaves em um cenários, geração de caminhos e distâncias entre pontos do cenário.

**Seleção:** Permite escolher um ou mais objetos num *VE*. Em (ShermanC02) são apontadas duas categorias de seleção, aquelas baseadas na escolha de uma direção e as baseadas na escolha de itens. Os autores mencionam também uma terceira categoria via entrada de dados alfanuméricos. Sobre as técnicas baseadas em direção, as *3DIts* mais comum são as baseadas em raios (*Ray-based techniques*), e consistem na seleção de um objeto pela intersecção do mesmo com um raio vindo (“metaforicamente”) do dedo ou mão do usuário. Esta forma de seleção pode ser considerada como uma analogia à escolha de um arquivo usando o ponteiro do *mouse*. A *raycasting* (Mine95) é um exemplo clássico desse tipo de *3DIt*. Variações dela são encontradas nas *3DIts: flashlight* (LiangG94) e *aperture* (ForsbergHZ96). Ambas usam a representação de um volume de um cone ao invés de um raio, e permitem escolher múltiplos objetos. A abertura deste cone é modificada interativamente para controlar a escolha dos objetos. O direcionamento desse raio pode ser resultante da direção somente de uma *Wand*, de duas *Wands* formando um vetor 3D, ou do *head-tracking* e uma *Wand*, entre outras. Nas técnicas baseadas na seleção de item, a maioria são consideradas como de seleção direta, por exemplo, a *Contact-Select* onde literalmente o usuário precisar “tocar” no objeto virtual para selecioná-lo. Isto pode ser feito utilizando uma luva rastreada, por exemplo. A escolha de item também pode ser feita, utilizando a *Contact-Select*, através de menus virtuais escolhendo itens em uma lista. As *3DIts* de seleção estão muito relacionadas com as *3DIts* de manipulação, pois são o pré-requisito delas. Desta forma, em seguida serão mencionadas implicitamente outras técnicas de seleção.

**Manipulação:** Modificam as propriedades, frequentemente a posição e orientação, de um objeto dentro do *VE*. Algumas *3DIts* foram naturalmente

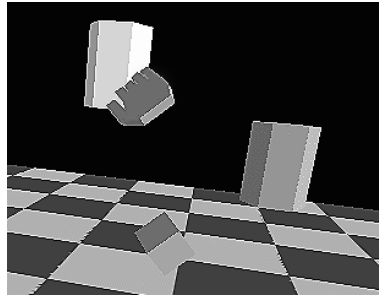


Figura 2.15: *Go-go technique* (PoupyrevBWI96).

inspiradas na intuitiva manipulação usando as mãos, ou seja, a manipulação direta ao alcance das mãos. Em (ShermanC02) estas técnicas estão classificadas como manipulações do tipo *Direct user control*. Estas *3DI*t também são denominadas como *reaching techniques* e a versão mais simplificada é a utilização de uma mão virtual (*virtual hand*). Neste caso, há o direto mapeamento do movimento da mão do usuário na mão virtual dentro do *VE*. O problema nesta *3DI*t é a impossibilidade de interação com objetos que estão fora do alcance dos braços. Esta limitação foi contornada na técnica *Go-go* (PoupyrevBWI96). Nela, o alcance do braço virtual é interativamente modificado quando a mão real do usuário ultrapassa uma certa distância limiar, logo, o acesso, a seleção e a manipulação dos objetos distantes ficam permitidos (Figura 2.15). Variações desta técnica também foram desenvolvidas, como a *fast Go-go* e a *stretch Go-go*. Outras técnicas são baseadas em raios virtuais e dão continuidade às técnicas de seleção desta natureza. Por exemplo, após o uso da técnica de seleção *ray-casting*, o objeto escolhido é fixado no raio e acompanha os movimentos dele. Alguns testes nesta abordagem foram relatados em (BowmanH97) e foram identificadas algumas desvantagens como dificuldade na realização de rotações e movimentos de aproximação e recuo; apesar das desvantagens foi indicada como uma boa vantagem na realização de arrastos (*grabbing*). Bowman e Hodges desenvolveram uma técnica híbrida chamada *HOMER - Hand-centered Object Manipulation Extending Ray-casting* (BowmanH97) juntando as características das técnicas baseadas em raios e as baseadas na mão virtual. Basicamente, a técnica consistia na seleção por *ray-casting* e em seguida uma mão virtual era posicionada no objeto escolhido para iniciar a manipulação. Em (ShermanC02) são relatadas outras categorias de manipulação: *Physical Control*, *Virtual Control* e *Agent Control*. A primeira refere-se à utilização de dispositivos físicos e à obtenção de *feedbacks* deles, por exemplo, feedback tátil ao pressionar botões e quando um controle vibra. As

outras duas categorias referem-se a formas de manipulação indireta utilizando controles virtuais (por exemplo, menus e sliders virtuais) e controle de agentes na forma de avatares. Em (Bolt80) foi relatada uma forma de interatividade *multi-modal* para manipulação de objetos. Através de gestos e comandos de voz, uma posição alvo era especificada para posicionar um determinado objeto. O nome desta técnica era “*put-that-there*”.

**Controle de Sistema:** Compreende as técnicas responsáveis por modificar o estado do sistema que gerencia o *VE*. Nas interfaces 2D do tipo *WIMP*, *toggles*, *radio buttons*, *checkboxes*, *menus* do tipo *pull-down* e *pop-up* são exemplos de técnicas de controle de sistema. Para *VE* foram criados *menus* flutuantes inspirados em interfaces 2D (TeylingenRM97), *menus* do tipo *TULIP - Three-Up, Labels in Palm* (BowmanWCL01), o *VEWL - Virtual Environment Windowing Library* (LarimerB03), *rings menus* (LiangG94), *spin menus* (GerberB05), entre outros. Além disso, comandos por voz e baseados em gestos já foram também utilizados. Outros esforços no desenvolvimento de *menus* também foram feitos para aplicações de *VR* voltadas para *desktop* e *AR*, mais detalhes sobre essas variações, assim como propostas sobre classificações estão em (RaimundH07).



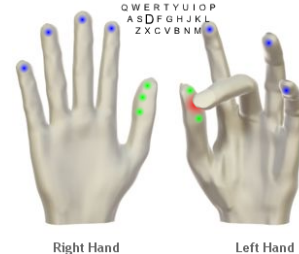
2.16(a): *KITTY Glove*



Right Hand

Left Hand

2.16(b): Combinação de posições dos dedos na mão direita para letra K.



Right Hand

Left Hand

2.16(c): Combinação de posições dos dedos na mão esquerda para letra D.

Figura 2.16: Digitação sem o uso de teclados - *KITTY Project* (KuesterMPC05).

**Symbolic Input:** Esta é a tarefa em que o usuário comunica informações simbólicas (textos, números e outros símbolos) dentro do *VE*. Tarefas deste tipo são comumente encontradas nas *GUIs* através da utilização de aplicações para edição de texto, email, planilhas, entre outras. No contexto dos *VEs* esta tarefa ainda é muito pouco explorada. Um dispositivo chamado *KITTY* (ver Figura 2.16(a)) (KuesterMPC05), similar a uma luva, foi desenvolvido para digitação de texto independente do uso de teclados. A ideia básica é a associação de letras a uma combinação de posição dos dedos (ver Figura 2.16(b) 2.16(c)).

A maior parte dos trabalhos na literatura compartilham similaridades com essa classificação. Em alguns casos são usados nomes diferentes, como em (Kjeldskov01) que classificou as tarefas em: *Orienting*, *Moving* e *Acting*. A primeira referia-se a capacidade do usuário de olhar ao seu redor, a segunda é similar a tarefa de Navegação e a terceira consiste nas tarefas de Manipulação e Seleção juntas. Um aspecto adicional, relacionado com uma certa “sociabilidade virtual”, foi incluído na classificação de (ShermanC02) que além da Navegação e Manipulação inclui a Comunicação. Esta modalidade compreendia a comunicação com outros usuários e agentes contidos no VE. Para Smith et. al (SmithD99) as técnicas foram agrupadas em: *Navigation*, *Selection*, *Manipulation* e *Environment Commands*. Esta última corresponde à categoria “Controle de Sistema” descrita anteriormente, enquanto as demais são idênticas em nome e definição.

## 2.5

### Interfaces Híbridas de Transição e Continuum da Realidade Mista

Em relação à localização das interfaces dentro dos espectros de interfaces propostos por Milgran e posteriormente por Molina (ver Seção 1.1.2), pode-se dizer que existem dois tipos: as estáticas e as dinâmicas. As interfaces com a característica estática são aquelas que estão estacionadas em algum ponto ou região dentro do espectro, por exemplo, a VR, a AR, e as WIMPs. Porém as com características dinâmicas têm a capacidade de “caminhar” ao longo deste espectro e são consideradas mais como um veículo de locomoção. Estas interfaces estão começando a ser exploradas e vêm sendo nomeadas como interfaces de transição (*transitional interfaces*). Ainda são pouco exploradas e o trabalho principal neste contexto é o projeto MagicBook (BillinghurstKP01).

O *MagicBook* apresentou o conceito das interfaces de transição vinculando-as ao *Continuum* da Realidade Mista definido por Milgram (MilgramK94). Na aplicação exemplo havia uma interface que caminhava da realidade comum (simplesmente o livro com as informações textuais e figuras bidimensionais), passava pela realidade aumentada (visualização do livro acrescidos de cenas 3D por meio de um hand-held display) e por fim parava na realidade virtual (imersão nas cenas 3D do livro). Esta transição usou como dispositivos um *hand-held display* e eventos de botões para interações simples de navegação.

Pode-se notar que uma vantagem clara nas interfaces de transição é a interligação de interfaces contidas no continuum da realidade mista com a finalidade de realizar uma tarefa, no caso do *MagicBook*, o entendimento das histórias de um livro. Para esta tarefa foi permitido experimentar tanto a



realidade aumentada e a virtual utilizando algumas formas de interação através de uma quantidade pequena de dispositivos. Entretanto, poderia-se pensar em outras tarefas utilizando mais recursos de hardware e interligando interfaces do continuum da MR, tais interfaces poderiam ser consideradas por um lado interfaces híbridas e por outro lado interfaces de transição.

## 2.6

### Continuidade

O estudo e desenvolvimento das *HUI* está dando início ao surgimento de ambientes de trabalho cada vez mais complexos, contendo uma diversidade de dispositivos de entrada e *displays*. A composição destes dispositivos pode resultar em vários modos de operação caracterizando espaços de interação distintos. Todos estes fatores estão de certa forma de acordo com o que Ishii et al. (IshiiKA94) relatou sobre o desenvolvimento de sistemas de colaboração em tempo real. Duas metas importantes foram apontadas: continuidade com práticas de trabalho e transições suaves entre espaços funcionais. A primeira meta está relacionada ao aproveitamento das habilidades e práticas de trabalho que as pessoas estão acostumadas a fazer, ou seja, sistemas que forcem o abandono de habilidades adquiridas (conhecimento prévio) pelo aprendizado de novos métodos estão sujeitos a encontrar grande resistência. A segunda propriedade consiste no desenvolvimento de transições suaves entre modos de operação (espaços de interação), uma vez que, para a realização de algumas tarefas pode haver a necessidade da execução de outras “subtarefas” em ambientes distintos. Alcançar transições contínuas e suaves entre esses modos sem dúvida é uma meta importante, pois tenta evitar frustrações durante a realização de tarefas complexas.

### Congruência Dimensional

O conceito da Congruência Dimensional apontado por (DarkenD05) está ligado à problemática da falta de um mapeamento direto entre as ações dos usuários e os efeitos dessas ações no ambiente virtual. Os autores definiram formalmente como:

*...a condição aonde a demanda espacial de uma tarefa está diretamente de acordo com a técnica de interação que é usada para executá-la.*

Este fato é bem percebido quando em um ambiente interativo o usuário é forçado a fazer tarefas de natureza 2D ou entrada de dados simbólica usando técnicas de natureza espacial 3D ou vice-versa. Um exemplo bem ilustrativo seria forçar um usuário a utilizar um editor de texto usando luvas através de um teclado virtual 3D flutuando dentro de um ambiente imersivo. A tarefa de

editar texto está presente no dia-a-dia de várias pessoas e está frequentemente associada ao uso de um teclado físico apoiado em uma mesa. Este teclado físico provê *feedback* tátil, ao contrário do teclado virtual em que a luva não iria tocar em nada. A edição de texto é uma tarefa de entrada de dados simbólica associada a um dispositivo de entrada de dados com um layout bidimensional.

### 3

## Trabalhos Relacionados

Este capítulo inicia relatando trabalhos significativos relacionados com o desenvolvimento de sistemas de interface que tentam misturar componentes de hardware e software de diferentes naturezas. Em seguida são relatados outros trabalhos que mostram evidências de uma possível relação entre tarefas comumente realizadas em ambientes virtuais 3D e as propriedades de *displays* e dispositivos de entrada. Mais à frente são apontados trabalhos relevantes sobre interface de transição, continuidade e congruência dimensional, os quais servem como referência e para o desenvolvimento de mecanismos para transições entre interfaces distintas, assim como no auxílio para o desenvolvimento de técnicas de interação 3D. Por fim, é apresentado um apanhado geral sobre trabalhos relatando diferentes formas de inclusão de informações por meio de anotações.

### 3.1

#### Interfaces Híbridas

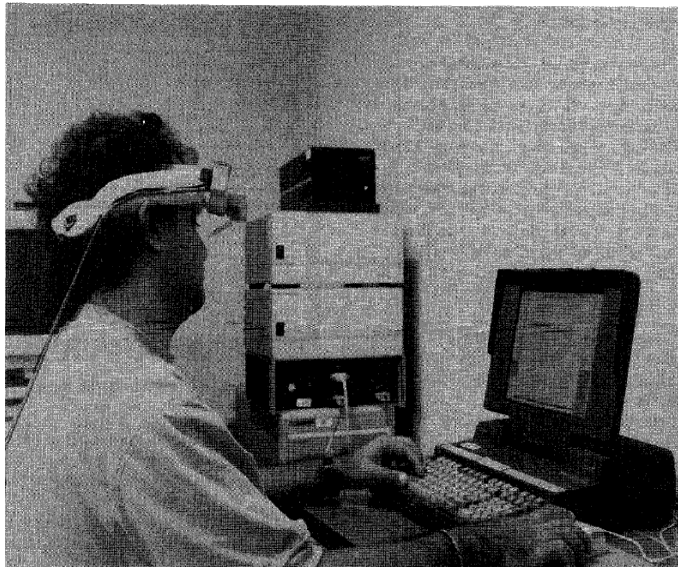


Figura 3.1: Aumento da área de trabalho do *Desktop* utilizando *HMD* (FeinerS91).

Os trabalhos citados a seguir são às vezes denominados como Sistemas de Realidade Mista (*MRS - Mixed Reality Systems*), ou Interfaces Híbridas

de Usuário (*HUI - Hybrid User Interfaces*), ou até recentemente Sistemas de *Display* Híbridos (*HDS- Hybrid Display Systems*). Todos compartilham características no sentido de usar múltiplos elementos, sendo estes múltiplos dispositivos e/ou múltiplas interfaces. Ao longo do capítulo será adotada a denominação *HUI*. O termo *HUI* foi inicialmente abordado por Feiner (FeinerS91), caracterizando um ambiente heterogêneo, rico em técnicas de interação, com dispositivos de diversas modalidades sendo utilizados de forma complementar. Uma aplicação exemplo, utilizando um *HMD*, resultou na elaboração de uma *Hybrid Windows Manager Interface*. Esta interface permitiu o aumento (além dos limites do monitor) da área de trabalho virtual de um *desktop* por meio da visualização no *HMD* (Figura 3.1).



Figura 3.2: *Office of the Future* (RascarWC98).

O *Office of the Future* (RascarWC98) foi um dos primeiros grandes projetos nesta linha de pesquisa. Combinava várias técnicas de visão computacional e computação gráfica para analisar superfícies de ambiente real e depois adicionar nelas informações virtuais através de projeções (Figura 3.2). Uma quantidade grande de câmeras era posicionada no ambiente para analisar dados como posição do usuário, posição dos olhos, superfícies irregulares, entre outros.

Reikimoto (RekimotoS99) explorou a ideia da heterogeneidade das *HUIs* no sentido do uso de vários computadores e *displays* (projeções e notebooks) em um mesmo ambiente de trabalho (Figura 3.3). A transferência de dados entre os computadores era feita de uma forma mais direta, sem a necessidade do usuário saber sobre transferência de dados via rede. Para isto, duas operações chamadas *hyperdragging* e *pick-and-drop* foram criadas: a primeira consistia no arrasto de informações entre *displays*; a segunda consistia em uma operação de *pick* de um arquivo usando uma caneta (através de um clique) e depois

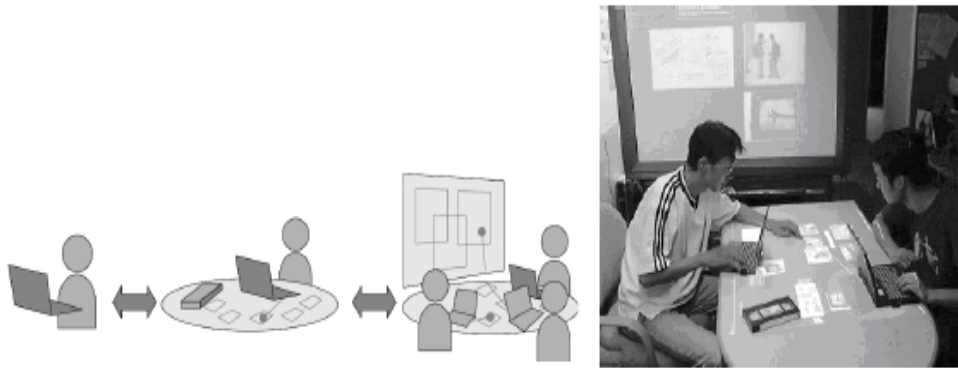


Figura 3.3: *Augmented Surfaces* (RekimotoS99).

uma operação de *drop* para liberar o arquivo em outro lugar do ambiente de trabalho. Para a segunda abordagem não havia *feedback* visual do arquivo durante o transporte como acontecia no *hyperdragging*, mas a finalidade era a mesma.

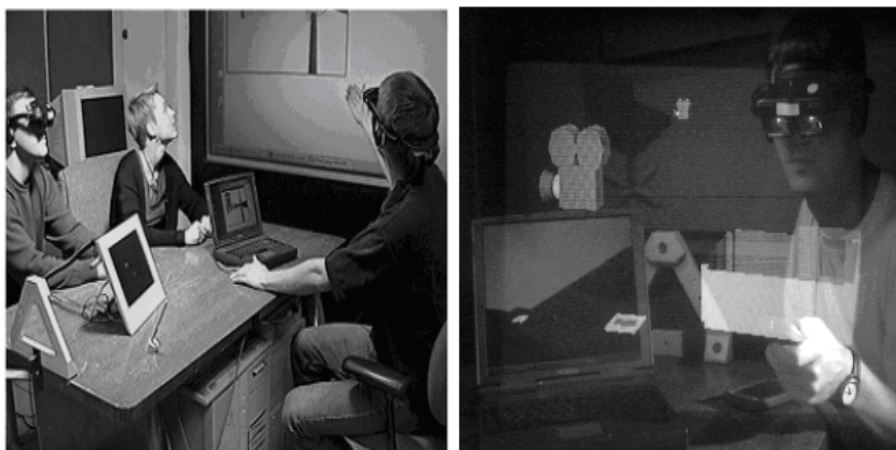
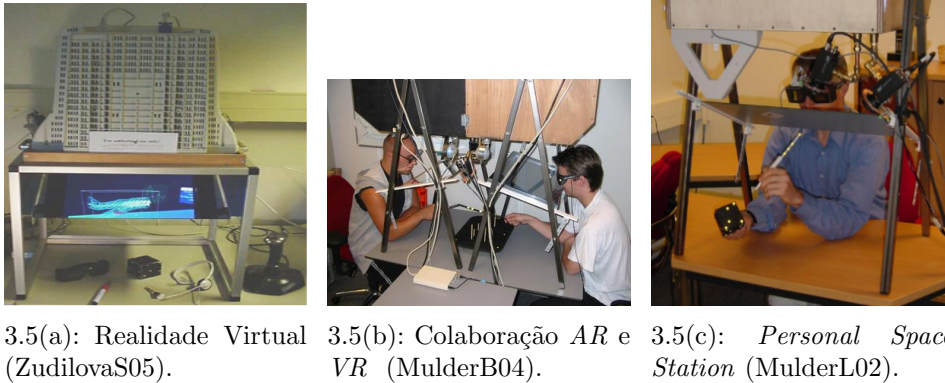


Figura 3.4: *Emmie Project* (ButzH99).

No extinto projeto EMMIE (ButzH99) desenvolveu-se um sistema voltado a colaboração, similar ao trabalho de Reikimoto, sendo que no EMMIE foi acrescido o uso da *AR* através do uso de um *HMD* para *AR* do tipo *See-Through* (Figura 3.4). Os participantes visualizavam gráficos 2D e 3D no espaço de trabalho. O uso do *HMD* permitia visualizar dados como arquivos “flutuando” no espaço de trabalho e a manipulação de objetos 3D através de *Wands*. Questões como visualização de dados privados foi discutida neste trabalho, pois usando o *HMD* era possível restringir a visualização de informações. Mas o enfoque dado pelos autores não foi realmente direcionado para tarefas 3D, estava mais para um ambiente colaborativo para trocas de informações com acréscimo visual de dados 3D.

Através de um *display* (do tipo *Reachin Display*) chamado *Personal*



3.5(a): Realidade Virtual (ZudilovaS05).

3.5(b): Colaboração AR e VR (MulderB04).

3.5(c): *Personal Space Station* (MulderL02).Figura 3.5: Interface híbrida usando um *Reachin Display*.

*Space Station (PSS)* (MulderL02) (Figura 3.5), o trabalho (ZudilovaS05) criou um ambiente de trabalho que permitia o uso da VR e WIMP para uma aplicação de reconstrução vascular. Com mais unidades do PSS, em (MulderB04) um ambiente colaborativo misturando tarefas de VR e AR foi criado. Os usuários ficavam localizados no mesmo ambiente, ou seja, não era uma colaboração com usuários remotamente localizados. O PSS permite manipulações locais utilizando apontadores e uma interface tangível na forma de um cubo (interação bimanual). A manipulação ocorre atrás de uma superfície de visualização causando a impressão visual de uma interação direta com o objeto. Os autores mencionavam a utilização conjunta da VR e AR, assim como VR e WIMP, mas não detalharam nada sobre alguma transição entre as duas, ou a execução de alguma tarefa utilizando mais de uma interface. A princípio parece ser um trabalho que permite a execução das interfaces isoladamente, mas não as interliga realmente.

Nakashima (NakashimaMKT05) apresentou um protótipo de um ambiente de trabalho cooperativo com ambientes 2D e 3D para tarefas de modelagem gráfica. O ambiente utilizou um *display* chamado *IllusionHole* para interações 3D, enquanto as 2D foram possibilitadas pelo uso de uma projeção (Figura 3.6). Mouses rastreados foram usados como ferramentas nos dois ambientes, uma vez que ora poderiam ser usados como cursores nas projeções, ora como apontadores 3D no *IllusionHole*. Uma peça retangular rastreada também

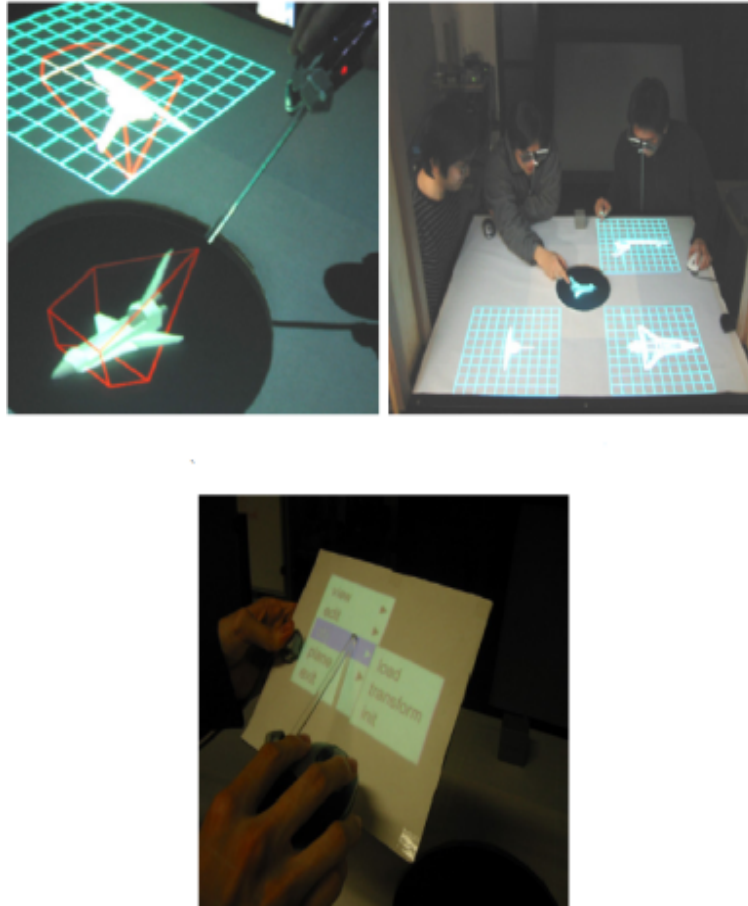


Figura 3.6: Ambiente híbrido para tarefas de modelagem (NakashimaMKT05).

era usada como ferramenta, na qual eram projetadas informações de menus. Esta *HUI* ficou particularmente interessante uma vez que permitiu colaboração durante uma tarefa de modelagem. Este trabalho utilizou simultaneamente as interfaces *VR* e *WIMP* para uma mesma tarefa. As duas interfaces eram visíveis ao mesmo tempo e exibiam os mesmos dados de modos diferentes, ou seja, a *WIMP* mostrava os perfis dos modelos em vistas 2D ortográficas e dava acesso a menus, enquanto a *VR* (via *IllusionHole*) permitia manipulações e inspeções visuais.

Uma *HUI* para manipulação de dados médicos utilizando interações 2D e 3D foi desenvolvida em (BornikBKRS06). Nela, um único apontador 3D foi utilizado como ferramenta de interação. Duas formas de visualização estavam disponibilizadas, uma em um *tablet* e outra em uma projeção. As interações 2D, executadas na superfície do *tablet*, destinavam-se a tarefas que exigiam maior precisão, enquanto as interações 3D (na frente da projeção) eram feitas no espaço livremente e destinavam-se para manipulações mais “grosseiras” (Figura 3.7). Neste trabalho nota-se uma certa importância a superfícies de apoio para movimentos mais precisos. Como no trabalho

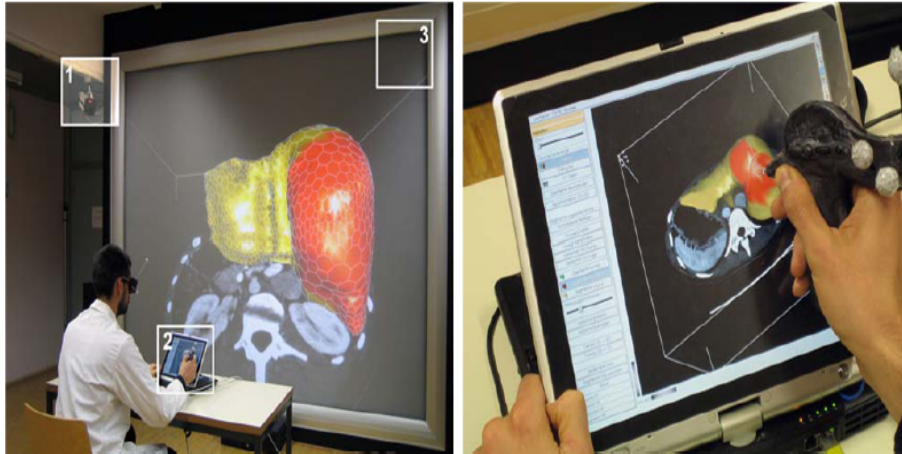


Figura 3.7: Manipulação de dados médicos utilizando interações 2D e 3D (BornikBKRS06).

de (NakashimaMKT05), este trabalho utilizou interações 2D (via *WIMP*) e 3D (via projeção) para uma mesma tarefa, ou seja, as interfaces foram exploradas de forma complementar, tirando vantagem dos modos de exibição e interação particular de cada uma. A tarefa explorada era de natureza 3D envolvendo manipulação e visualização de um dado 3D; a interface *WIMP* não foi realmente usada para as tarefas de escritório (edição de texto, planilhas, entre outras).



Figura 3.8: *MagicMeeting* (RegenbrechtWB02).

No projeto *MagicMeeting* (RegenbrechtWB02) um ambiente colaborativo foi desenvolvido integrando uma interface 2D juntamente com uma interface 3D para manipulação e inspeção de dados 3D (Figura 3.8). A interface 2D veio por meio das *WIMP*, e as 3D por meio da *AR* utilizando *HMDs* do tipo *Camera-See-Through*. A *AR* utilizava o *ARToolkit* ([www.hitl.washington.edu/artoolkit/](http://www.hitl.washington.edu/artoolkit/)) para criar ferramentas de interação por meio de marcadores. Nestes marcadores estavam anexados objetos 3D, e em outros haviam menus 2D das *WIMP*. Os menus disponibilizavam comandos



para mudar as propriedades dos objetos 3D. Um mouse rastreado com um *tracker* magnético interagia tanto nas *WIMP* quanto nos objetos 3D. Neste trabalho nota-se o uso conjunto de duas interfaces, sendo que cada interface foi explorada utilizando os seus recursos inerentes, a *WIMP* através das interações com os menus e a *AR* através da visualização e manipulação de objetos reais e virtuais.



Figura 3.9: Gestos como forma de interação para transferência de visualização entre *displays* (BenkoIF05).

Benko et. al (BenkoIF05) criaram um ambiente híbrido composto por um *display LCD* verticalmente posicionado, um *display* sensível a toque (*multi-touch*) horizontalmente posicionado, e um *HMD* para *AR* do tipo *See-through*. O usuário realizava tarefas de manipulação em objetos 3D de peças de arqueologia. O uso de uma luva como dispositivo de interação também estava presente. Basicamente, havia a existência de dois modos de visualização: 2D por meio do *LCD* e o do *display multi-touch*, e o 3D através do *HMD*. A transferência da visualização entre eles era feita por meio de gestos manuais usando a luva (Figura 3.9). Desta forma, a abordagem híbrida caracterizou-se no sentido que proveu visualizações e modos de interação diferentes na manipulação dos dados. Um aspecto importante foi a preocupação em realizar transições entre os modos de interação e visualização, por exemplo, através dos gestos, o sistema fazia uma transição do objeto exibido no *display multi-touch* para o espaço 3D visualizado no *HMD*, ou seja, havia a impressão de que o objeto saía e voltava do *display multi-touch*. Esta transição passava uma impressão de continuidade na interação entre os modos de interação. Vale mencionar também o uso do *display* sensível para realizar interações (do tipo multi-toque) que afetavam o estado dos objetos 3D que estavam flutuando no espaço.

Recentemente, (BaumgartnerED07) apresentaram uma interface híbrida para explorar a organização de um *desktop* dispondo espacialmente documen-

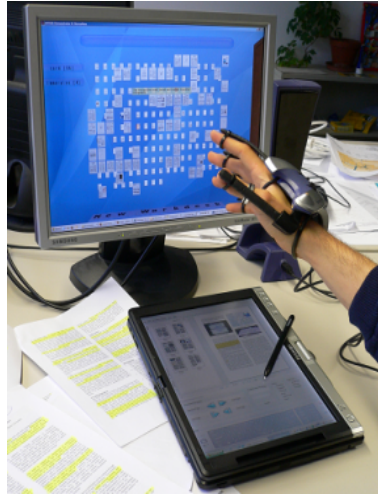


Figura 3.10: Organização de documentos utilizando luvas e visualização estereoscópica (BaumgartnerED07).

tos em um espaço 3D. A organização dos documentos era feita por meio de uma luva usando gestos (Figura 3.10). Os documentos localizados no espaço 3D eram visualizados na tela de um monitor autoestereoscópico. Os documentos eram editados usando teclado, e caneta por meio de um *tablet* situado abaixo do monitor. Neste trabalho, o foco foram tarefas relativas a um desktop acrescentando uma visualização 3D para permitir uma organização de documentos diferente daquelas baseadas em hierarquia de pastas. Fora a forma de organização, as tarefas de edição de documentos foram todas realizadas nas interfaces de desktop convencional com o acréscimo de mais uma opção (*tablet e caneta*) de dispositivo de entrada.

No trabalho (CarvalhoRG07, CarvalhoRG07b) foi apresentada uma *HUI* com o objetivo de explorar tarefas de interação 3D em um único ambiente de trabalho. O intuito principal era prover uma forma de explorar a *VR* por meio de um *HMD* para tarefas de navegação 3D, e além disso usar a *AR* para tarefas de manipulação, e por fim usar interfaces *WIMP* (Figura 3.11) para tarefas comuns (edição de texto por exemplo) de desktop. No ambiente *VR* foi criado um *cockpit* transparente que acompanhava a posição e orientação dos objetos próximos do usuário (uma mesa e paredes), desta forma, o usuário tinha um *feedback* visual dos limites de interação física. Porém, esta abordagem apresentava uma desvantagem no uso do teclado, pois como o *HMD* exibia a imagem do mundo real através de uma câmera, a utilização do teclado ficava difícil nas tarefas de *desktop*. As tarefas envolvendo edição de textos ficaram prejudicadas por esta dificuldade.

A utilização conjunta de um *HMD* e um *display* utilizando projeções foram os componentes de um protótipo de uma *HUI* para visualização de

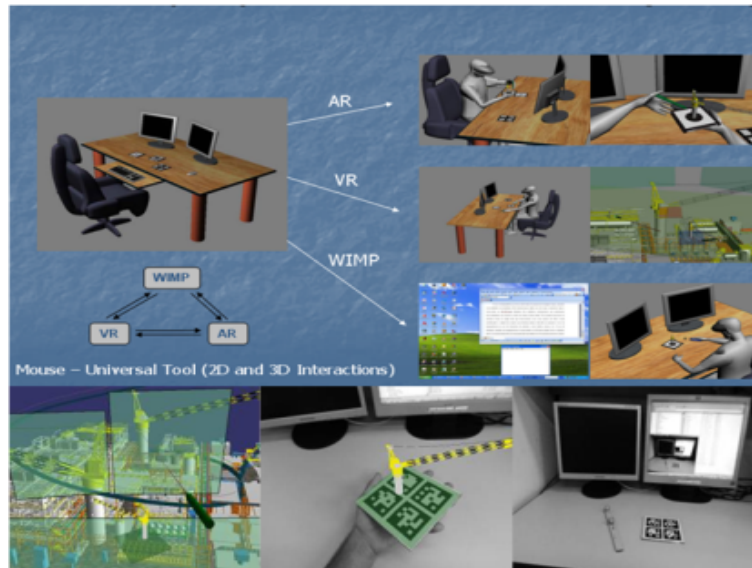


Figura 3.11: Realidade Virtual Imersiva usando *HMD* para uma interface híbrida em um desktop (CarvalhoRG07, CarvalhoRG07b).

treinamento cirúrgicos (IlieLWLFC04). O *HMD* utilizado não era para *AR*, e sim para *VR*. O objetivo era contornar a falta de estímulo periférico, dado que os *HMDs* possuem *FOV* limitado, com o uso de um *display* baseado em projeções (Figura 3.12). O *HMD* tinha resolução alta e recursos de estereoscopia. Os resultados não foram muito conclusivos, mas mesmo assim foi uma tentativa em juntar características dos dois *displays*, ou seja, de um lado estereoscopia com alta resolução e do outro um *FOV* elevado para estimular a visão periférica.

Lee et. al (LeeYKYK07) também desenvolveram uma *HUI* utilizando um *HMD* e um *display* baseado em projeções. Porém, os equipamentos apresentavam tecnologias diferentes e o propósito da *HUI* era outro. Alta resolução (1280x1024) e estereoscopia eram atributos dos dois *displays*. A aplicação alvo era treinamento de pintura virtual utilizando um ponteiro 3D (Figura 3.13(a)). O *HMD* foi utilizado para permitir a visualização de objetos virtuais próximos do observador (entre o *HMD* e a projeção) juntamente com objetos reais (Figura 3.13(b)). Esta situação não era possível utilizando a projeção isoladamente porque a obstrução dela por objetos reais durante as interações quebrava o efeito de estereoscopia.

*DeskCave* foi um projeto que adaptou um sistema de projeções, inspirado no *setup* de uma *CAVE* de três lados, para uma mesa comum (AchtenJV04) (ver Figura 3.14). O sistema permitiu a utilização da *VR* por meio das projeções, e também permitia o uso do desktop através das *WIMP*. Mas não havia uma inter-ligação explícita entre os dois ambientes. Basicamente foi um trabalho de construção de um hardware para visualização imersiva apenas,

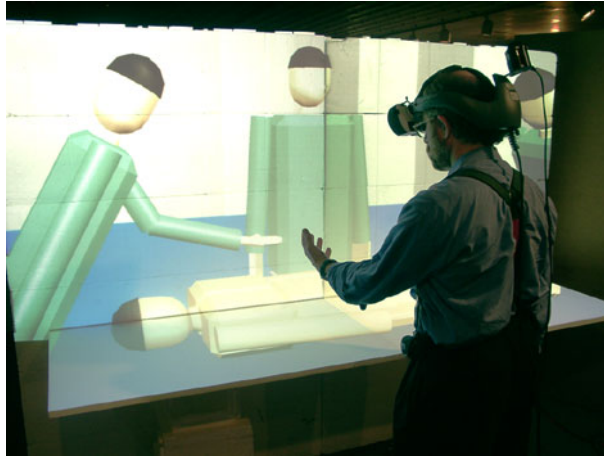


Figura 3.12: *HMD* para *VR* e Projeções utilizadas em conjunto (IlieLWLF04).

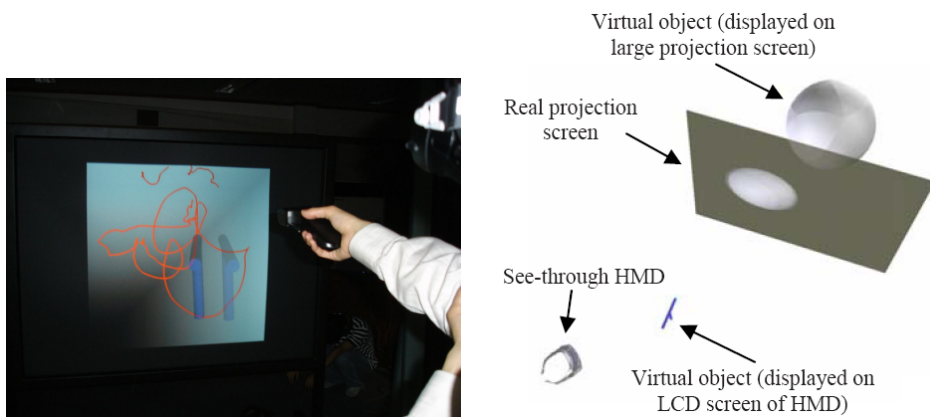
não houve um cuidado em questões mais focadas a tarefas de manipulação ou alguma forma de interligar ambientes 2D e 3D, por exemplo.

De uma forma geral, os trabalhos relatados tentaram misturar tecnologias distintas objetivando a realização de alguma tarefa. Porém faltou um critério ou pelo menos a citação da tentativa do uso de alguma metodologia ou conceito durante esta “mistura tecnológica”. Além disso, não houve nenhuma preocupação explícita com a questão do cuidado com possíveis transições entre estas tecnologias integradas.

## 3.2

### Influência dos Dispositivos nas Tarefas de Interação 3D

A maioria das *3DIts*, para ambientes imersivos, foram criadas e desenvolvidas utilizando *HMDs*, muito provavelmente pelo baixo custo em relação às *CAVEs* e por oferecer mais imersão do que os monitores convencionais. Diversos estudos sobre *3DIts* foram feitos buscando identificar vantagens e desvantagens na realização das tarefas 3D. E, novamente, numa grande parte destes estudos predominou a avaliação usando *HMDs*, ou seja, comparações entre técnicas diferentes em um mesmo *display* (BowmanH97, BowmanRP02, BowmanJH99, BowmanKH98, BowmanKH97b, PoupyrevI99, PoupyrevBI98, ChenPB04, PoupyrevWBI97, BowmanKH97a, JeongSCH08). Estes e outros estudos trouxeram discussões e conclusões sobre a utilização de várias *3DIts* para diferentes tarefas e diferentes tipos de ambientes virtuais. Mas todo este conhecimento ficou bem vinculado às características de um único *display* (*HMD*), ou seja, um *FOV* limitado, *FOR* de 360 graus, obstrução total da visão do mundo real, possibilidade de interações a curta distância tirando vantagem da propriocepção humana (i.e., usando as informações do próprio



3.13(a): Treinamento de pintura virtual.

3.13(b): HMD para AR para permitir co-existência de objetos virtuais e reais.

Figura 3.13: HMD para AR e Projeção com estereoscopia (LeeYKYK07).

corpo, como a posição das mãos ou da cabeça), questões ergonômicas relacionadas com o peso e existência de cabos, entre outras.

Entretanto, cada vez mais estão surgindo novas frentes de pesquisa envolvendo avaliações diversificadas buscando entender o impacto das características dos *displays* na imersão durante uma experiência virtual. Por exemplo, a comparação de diferentes *displays* na realização de uma mesma tarefa, sendo que esta pode ser executada com uma *3DIt* particular em cada *display*. Outras estudam o impacto de migrar uma *3DIt* de seu *display* primário (o *display* no qual ela foi desenvolvida inicialmente) para um outro *display* (*display* secundário). Todos estes esforços estão trazendo à tona atenção a outras características dos *displays* que estão indicando vantagens na realização das tarefas 3D. Boa parte destes estudos opta por analisar *displays* com características bem distintas, caracterizando uma certa dicotomia, para oferecer conclusões que sirvam como referência na avaliação de outros *displays* que compartilham similaridades com os *displays* estudados. Um caso bastante encontrado é a comparação entre HMDs e CAVEs. Porém, às vezes há também a inclusão de outros setups como FishTank e até o monitor tradicional.

Steed e Parker (SteedP05) realizaram experimentos para avaliar *3DIts* para tarefas de seleção e manipulação em diferentes *displays* utilizando diferentes *3DIts*. Basicamente eles classificaram os *displays* em duas categorias: HMD (*Head Mounted Displays*) e IPT (*Immersive Projection Technologies*), e conduziram experimentos utilizando dois *displays*, um de cada categoria. Um *Trimension ReaCTor* de 4 lados (projeções frontal, lateral esquerda, lateral

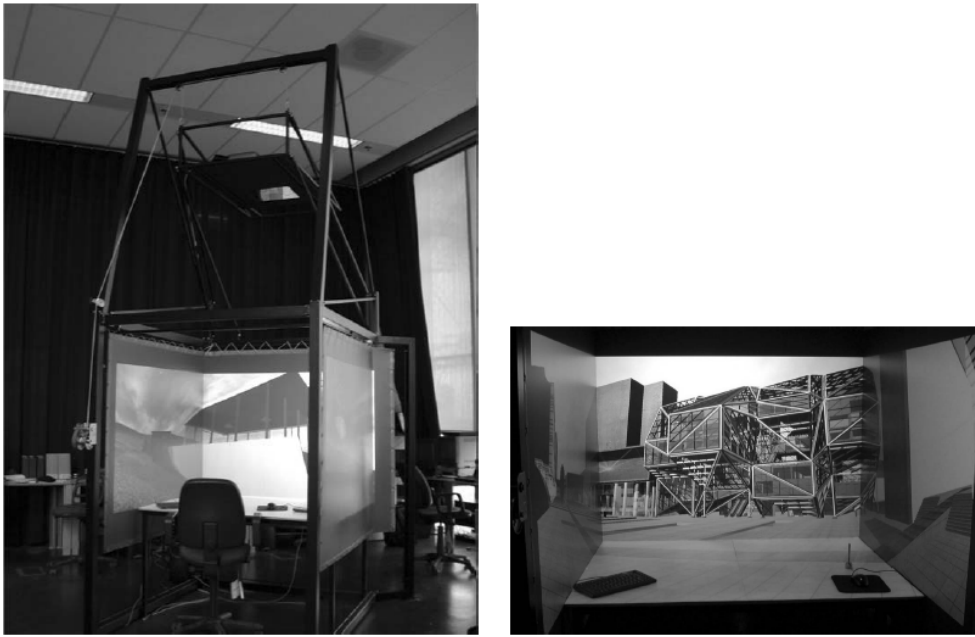


Figura 3.14: *DeskCave* (AchtenJV04).

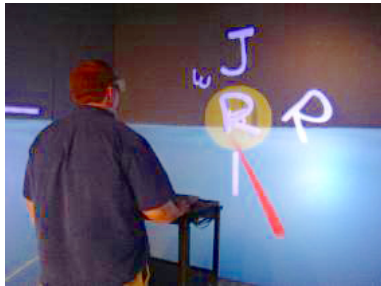
direita e chão) e um *HMD Virtual Research V8* foram as tecnologias escolhidas para *IPT* e *HMD* respectivamente. As *3DIts* utilizadas foram *virtual hand* e *ray-casting* para as tarefas. Três modos de avaliação foram determinados: o *Near Space Selection (NSS)*, *Selection Manipulation (SM)*, e *Medium Space Selection (MSS)*. O *NSS* compreendia o espaço de interação próximo do usuário com uma área de 3 metros quadrados, enquanto o espaço além desta área limite caracterizava o *MSS*. A tarefa de seleção consistia em selecionar um objeto alvo que ficava aparecendo. Após selecioná-lo, ele desaparecia e um outro surgia um segundo depois. Isto foi repetido 39 vezes no *NSS* e no *MSS*. No modo *SM*, a tarefa de manipulação consistia em selecionar um determinado objeto e manipulá-lo até a posição de um objeto alvo de tal forma que o objeto escolhido ficasse numa configuração espacial (posição e orientação) similar à do objeto alvo. Para a tarefa seleção, os resultados mostraram desempenho baixo usando o *HMD* tanto no *NSS* e *MSS*. Os autores sugerem que o *FOV* pequeno pode ter sido o fator determinante para esta conclusão dado o tempo elevado na procura pelos objetos:

*“HMD users spent a lot more of their time performing visual scans of their environment to locate the target object, and this visual scanning may dominate the time in the selection tasks.”* (SteedP05)

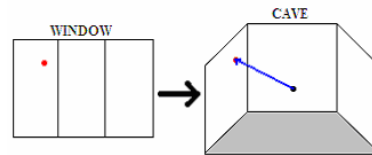
Em relação à tarefa de manipulação, não foram encontradas diferenças significativas de desempenho entre os *displays*. Os autores acreditam que após encontrar o objeto (tarefa de seleção), o desempenho permaneceu o mesmo nos

dois *displays* dado que a manipulação do objeto ficou contida em uma área de *FOV* pequeno. Este fato levou os autores a especular que para tarefas de manipulação a curta distância, o desempenho entre *IPTs* e *HMDs* pode ser similar também, mas ressaltaram que falta a realização de mais experimentos para comprovar isto.

Por fim, algumas *guidelines* foram indicadas resultantes dos experimentos: (a) Para aplicações envolvendo repetidas seleções de objetos no NSS, escolher *IPTs* ao invés de um *HMD* para um melhor desempenho. Para tarefas de manipulação não houve uma sugestão porque tanto o *IPT* e *HMD* mostraram resultados similares; (b) Em relação à escolha das *3DIts*, para tarefas envolvendo somente seleção seria melhor escolher *raycasting*, enquanto optar pela *virtual hand* para aplicações envolvendo seleção seguida de manipulação, e pouco uso da seleção isoladamente. Mas para esta última sugestão, eles enfatizaram que se o uso da seleção for mais frequente, ou seja, mais do que seleção seguida de manipulação, o *raycasting* seria mais adequado.



3.15(a): Mesa dentro de uma *CAVE* para execução de *3DIt* de desktop (McMahanGGMB06).



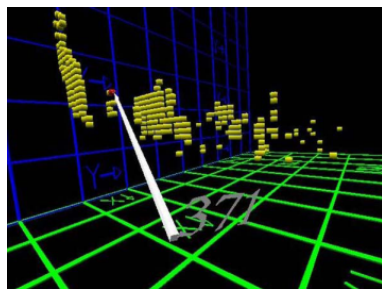
3.15(b): Esquema de mapeamento do ponteiro do mouse nas projeções da *CAVE* (McMahanGGMB06).

Figura 3.15: *CAVE Desktop-Based Interaction*.

McMahan et al. (McMahanGGMB06) avaliaram os efeitos do *FOR* e estereoscopia em diferentes *3DIts* para a tarefa de manipulação numa *CAVE*. A influência de dispositivos de entrada com diferentes *DOFs* foi avaliada também. As técnicas HOMER e Go-Go foram testadas utilizando uma Wand (6-*DOFs*), e uma técnica para *desktop* chamada *Desktop-Based Technique (DO-IT)* foi desenvolvida para utilizar o mouse (2-*DOFs*). Um aspecto interessante neste trabalho foi o uso de uma técnica de desktop em uma *CAVE*, para isto, uma mesa foi colocada dentro dela (Figura 3.15(a)) e adaptações foram feitas para mapear os movimentos do mouse nas projeções (Figura 3.15(b)). Os

resultados indicaram que a estereoscopia e o *FOR* não apresentaram uma influência significativa, mas a escolha da *3DIt* sim. As técnicas utilizando dados de entrada com 6 *DOFs* mostraram desempenho superior. Desta forma, os autores chegaram à conclusão que as tarefas de manipulação, utilizando dispositivos de entrada com 6 *DOFs*, podem ter um bom desempenho sem a necessidade de grande imersão por meio de *displays* grandes.

Apesar de Steed et al. (SteedP05) terem avaliado o *FOV*, pode-se inferir alguma relação com os resultados aqui em relação ao *FOR*. Steed et al. concluíram que tanto nos *IPTs* e no *HMD* a manipulação ficava similar dado que o foco de atenção estava restrito a um *FOV* pequeno durante a realização da tarefa. Pela similaridade dos resultados e características dos experimentos, no trabalho de McMahan provavelmente ocorreu a mesma coisa. O *FOR* elevado provavelmente ajudou na procura pelo objeto, mas uma vez selecionado e posicionado próximo ao objeto alvo, e daí iniciar realmente o processo de manipulação (aproximação da configuração espacial), visualmente o que importou foi uma determinada região do *display* onde os dois objetos estavam. Ou seja, um *FOR* grande não é tão importante durante uma tarefa onde o foco de atenção é um *FOV* pequeno. Talvez este resultado fosse diferente se o objeto de interesse ocupasse toda a tela e tivesse vários detalhes geométricos que deveriam ser observados durante a aproximação das posições.



3.16(a):  
(RajaBLN06).



Aplicação 3.16(b): Visualização nas  
4 projeções da CAVE  
(RajaBLN06).

Figura 3.16: *3D scatterplot*.

Em (RajaBLN06), tarefas envolvendo visualização e análise de dados abstratos foram verificadas sob a influência de diferentes *FOR* e o uso de *head-tracking*. O *FOR* foi denominado no trabalho com o termo *Physical immersion*, e para avaliá-lo, duas configurações no uso de uma *CAVE* foram utilizados: a primeira consistiu na condição com menos imersão usando somente a projeção

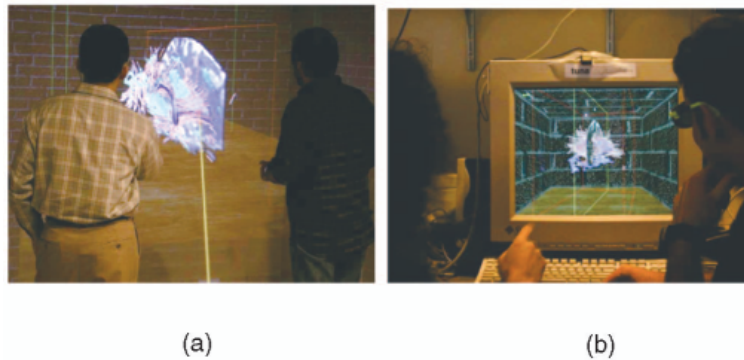


frontal; e a segunda usando 4 projeções (Frontal, Lateral Esquerda e Direita e Inferior). Diferentes combinações de *Physical immersion* e *head-tracking* foram testadas. Entre os dados utilizados estavam pontos 3D (*3D scatterplot*), representados por cubos, espalhados espacialmente dentro de uma grade 3D (Figura 3.16). Este tipo de dado caracteriza um *VE* densamente povoado por objetos. As tarefas consistiam na análise de distâncias e identificação de grupos de pontos e pontos isoladamente. Benefícios no desempenho das tarefas foram verificados usando isoladamente os 4 lados da *CAVE* e *head-tracking*, mas o uso conjunto dos dois foi apontada como a melhor alternativa.

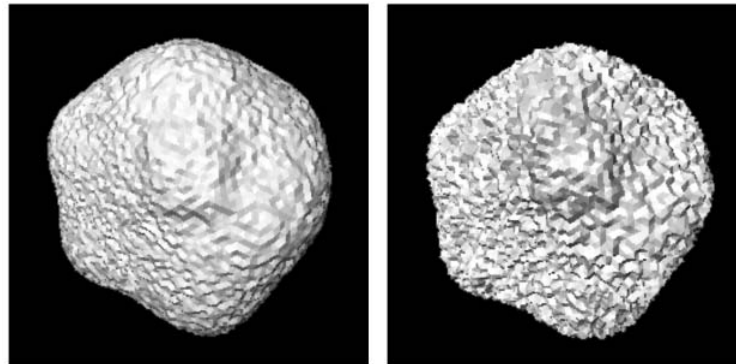
Em (ReitingerSBB06) comparações foram feitas entre *3DIts* que utilizavam dispositivos de entrada com diferentes *DOFs* para uma mesma tarefa. Uma das técnicas utilizava mouse (*2-DOFs*), e a outra utilizava uma caneta rastreada (*6-DOFs*). Ambas foram realizadas para uma mesma tarefa em uma aplicação de planejamento cirúrgico. A tarefa consistia em realizar medições em volumes através da indicação de faces, volumes e pontos no espaço. O mouse foi usado junto com um monitor tradicional, e uma projeção grande com estereoscopia foi usada com a caneta rastreada. Os resultados indicaram que as técnicas utilizando a caneta foram concluídas em um tempo menor.

Bowman et al. (BowmanDRFV02) realizaram avaliações empíricas comparando uma *CAVE* de 3 lados (Frontal, Esquerdo e Direito) e um *HMD* para uma tarefa de navegação levando em conta desempenho e orientação espacial. Um ambiente fechado cheio de corredores caracterizava o *VE* utilizado para navegar. Os resultados levaram a uma conclusão influenciada pelos modos de fazer rotações durante a navegação. Por ter 360 graus de *FOR*, o *HMD* permitiu rotações naturais usando o próprio corpo durante a navegação, porém a *CAVE* não tinha todos os lados e um recurso adicional (uso de um joystick) teve que ser utilizado para rotacionar o mundo, ou seja, uma rotação não natural. Este recurso permitiu ao usuário visualizar áreas que estariam visíveis se todos os lados da *CAVE* estivessem ativos.

Demiralp et al. (DemiralpKZL06) fizeram uma análise quantitativa comparando um *FishTank* e uma *CAVE* em uma aplicação de visualização científica (Figura 3.17(a)). Na avaliação quantitativa, a aplicação consistia na identificação de um atributo na superfície “rugosa” de uma batata virtual. Este atributo poderia assumir a forma de uma protuberância triangular ou retangular (Figura 3.17(b)). Uma *Wand* (*6-DOFs*) foi usada como dispositivo de entrada para manipular o objeto. Na *CAVE* a manipulação se fez por meio da *3DIt* “object-on-a-stick”, enquanto no *FishTank* o objeto permanecia fixo e apenas a sua orientação era controlada pela *Wand*. Os autores apontaram que as duas formas de interação se aproximavam porque os participantes acabavam



3.17(a): Aplicação na *CAVE*(a) e no *FishTank*(b) (DemiralpKZL06).



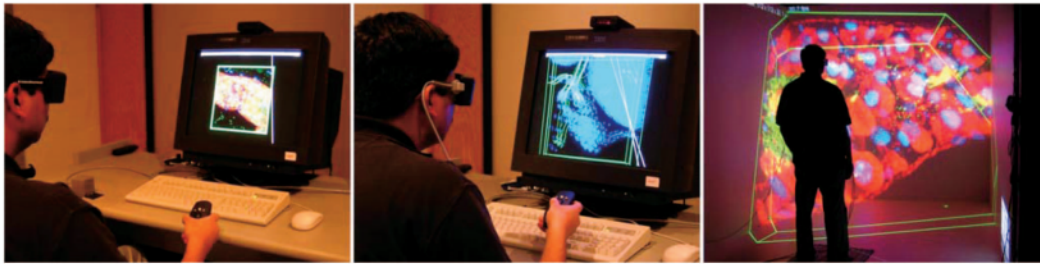
3.17(b): Batata virtual com uma protuberância retangular e diferentes níveis de rugosidade (DemiralpKZL06).

Figura 3.17: Exploração Visual de objetos por meio de manipulação usando *CAVE* e *FishTank display*.

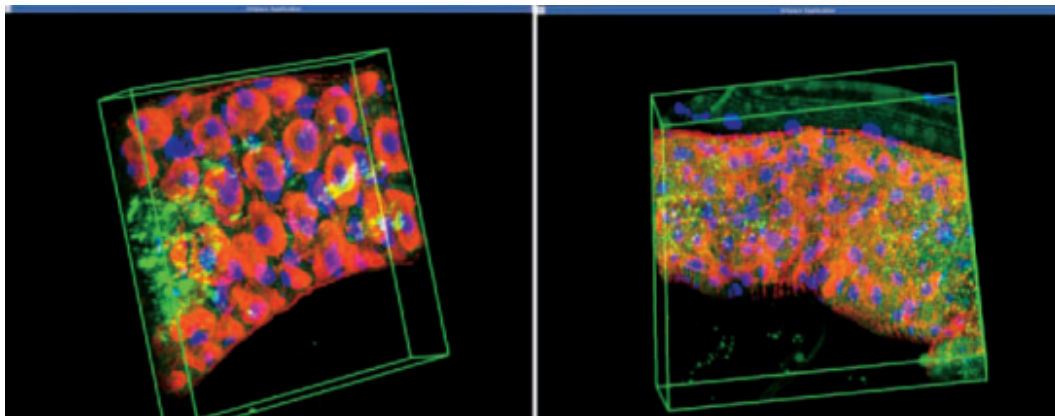
utilizando a *3DIt* na *CAVE* de forma similar à interação no *FishTank*, ou seja, o objeto permanecia parado em uma posição quase todo tempo e apenas mudanças na orientação do objeto eram realizadas. Três *setups* foram criados para analisar a resolução dos *displays*: *CAVE* 4-lados (1024x768 cada lado), *FishTank Lower Resolution* (1024x768), e *FishTank Higher Resolution* (1280x1024). Diferenças no tempo de conclusão foram encontradas entre os três *setups*, e o *FishTank Higher Resolution* mostrou maior desempenho e a *CAVE* o menor.

Observações sobre o uso do head-tracking indicaram pouca influência, provavelmente pela natureza da tarefa e os recursos de interação disponíveis, ou seja, a visualização e manipulação do objeto ficava dentro de um campo de visão relativamente pequeno, e a necessidade de movimentos da cabeça

adicionais para inspecionar o objeto eram suprimidos pela movimentação da Wand para mudar a orientação do objeto. Além do mais, fazendo um comparativo com práticas reais, pode-se dizer que este comportamento está de acordo com um outro comportamento comumente observado durante tarefas reais inspecionando objetos físicos que estão nas mãos, ou seja, tarefas que usam as mãos como ferramentas e um campo de visão pequeno. Apesar do head-tracking não ter mostrado uma grande influência, o uso da Wand (6-DOFs) e a visualização estéreo contribuíram bastante para o desempenho do usuário. Os autores concluíram que o *FishTank* seria mais apropriado para aplicações onde a interação do usuário se faz por meio de uma visão exocêntrica (de fora do mundo virtual) envolvendo tarefas de manipulação no *VE*. Porém, o *VE* deve ocupar os limites visuais do *display* e ser menor que corpo do usuário.



3.18(a): Aplicação no Desktop, *FishTank* e *CAVE* (PrabhatFKWS08).

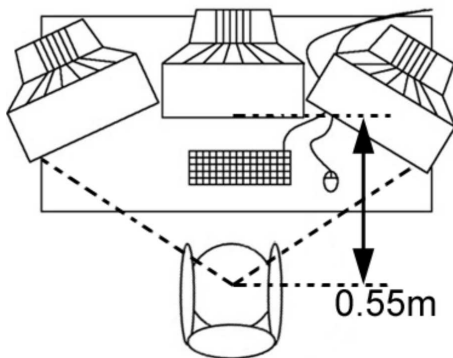


3.18(b): Exemplo de Dado volumétrico utilizado nos experimentos (PrabhatFKWS08).

Figura 3.18: Exploração Visual de dados Volumétricos usando diferentes *displays*.

Um estudo similar ao de (DemiralpKZL06) foi conduzido em

(PrabhatFKWS08) envolvendo a comparação dos mesmos *displays* mais o desktop tradicional (Figura 3.18(a)). Porém, a natureza do dado utilizado e a aplicação eram diferentes. Provavelmente isto foi uma das principais razões para as conclusões terem sido bastante diferentes, ou seja, os resultados apontaram mais vantagens no uso da *CAVE* do que o *FishTank* e o desktop. A aplicação consistia na análise de dados volumétricos. O dado utilizado ficou visualmente caracterizado por informações bem espaçadas na forma de uma “nuvem” densa de estruturas não contíguas espacialmente (Figura 3.18(b)). As tarefas induziam analisá-las para estimação de tamanhos, verificação de intersecções, relação de localizações entre elementos, ou seja, tarefas envolvendo a inspeção do volume internamente e externamente. Os autores apontaram como principais motivos para obtenção dos resultados: o tamanho da visualização e o engajamento do usuário usando o próprio corpo durante a exploração. A *CAVE* permitiu a visualização das estruturas do volume numa escala grande, e além disso permitiu a exploração dessas estruturas através da movimentação do corpo do usuário e a movimentação do próprio dado usando operações de translação e rotação com uma *Wand*.



3.19(a): Esquema dos monitores.



3.19(b): Monitores em execução.

Figura 3.19: Arranjo de Monitores (LesselsR04).

Em (LesselsR04) observou-se melhoras significativas em tarefas de navegação através do aumento do *FOV* mais o realismo do *VE*. Eles compararam diferentes *FOVs* (144 e 48 graus) através de um arranjo de três monitores (Figura 3.19).

Normalmente homens têm facilidades em tarefas envolvendo habilidades espaciais e as mulheres em tarefas envolvendo habilidades linguísticas (Kimura99). Esta diferença em relação às habilidades espaciais já foi verificada também em *VEs* através de tarefas de navegação (CutmoreHMLH00).

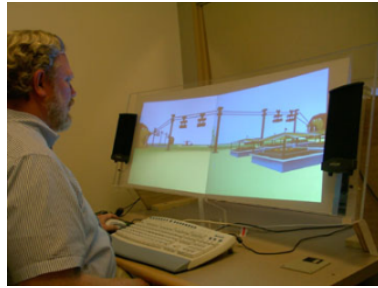


Figura 3.20: *Arcturus Display* (CzerwinskiTR02).

Porém, em (CzerwinskiTR02, TanCR03) foi concluído que esta diferença, para algumas tarefas envolvendo navegação também, pode ser diminuída utilizando *FOVs* maiores, por exemplo, através de multi-monitores ou *large-displays*. Nos experimentos realizados, o aumento no tamanho dos *displays* proporcionou um benefício para todos os usuários, mas particularmente para as mulheres houve um benefício significativo ao ponto que as diferenças em relação aos homens ficaram quase inexistentes durante a realização das tarefas. Os experimentos foram realizados utilizando um *display* experimental chamado *Arcturus* (Figura 3.20).



Figura 3.21: *Personal Surround Display* (RaymaekersBWC05).

Em (RaymaekersBWC05) foi confirmado também que *displays* maiores facilitam navegação, mas também ressaltou-se o fato que experiências anteriores com gráficos 3D e *VEs* claramente influenciam na navegação. Os experimentos foram conduzidos utilizando um *display* experimental constituído por três superfícies de projeção em cima de uma mesa (Figura 3.21). Este *display* foi chamado de *Personal Surround Display* (PSD). Juntamente com o *display* foi utilizado como dispositivo de interação um Phantom (force-feedback

device).

Nicholas et al. (NicholasPKB05) avaliaram o impacto do aumento da resolução e tamanho físico de *displays* no desempenho de tarefas interativas. Os equipamentos utilizados foram um *LCD* de alta resolução, um projetor, e um tecnologia chamada *VisBlocks* que permitiu a composição de 4 *displays* de alta resolução formando uma visualização com tamanho físico elevado e ao mesmo tempo com alta resolução. Os resultados da avaliação levaram à observação de uma melhora em tarefas de navegação assim como tarefas de comparação.

Muitos trabalhos mencionados optaram por analisar o *FOV* através do aumento do tamanho físico dos *displays*. Entretanto, este aumento pode ser feito também via software aumentando o *FOV* da camera virtual. Mas se o aumento for muito grande, sem o acompanhamento do aumento do *display*, a visualização da cena vai aproximando ao estilo das lentes olho de peixe. Polys, Bownam, et al. (NicholasPKB05) observaram que o aumento no *FOV* diminui o tempo em tarefas de procura porque mais conteúdo da cena virtual é exibido, entretanto, o aumento do *FOV* via software aumentou o tempo em tarefas que exigiam comparação de objetos. Os autores acharam que este fato pode ter relação direta com as deformações causadas pela visão usando lentes olho-de-peixe.

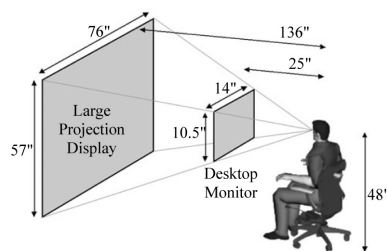


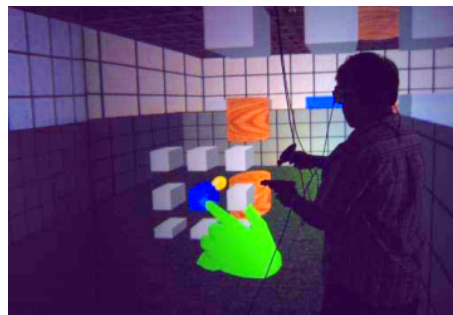
Figura 3.22: *Displays* diferentes com o mesmo *FOV* para o usuário (TanGSP06).

Além dos trabalhos envolvendo navegação no sentido da locomoção virtual, o aspecto do *wayfinding* também foi avaliado (TanGSP06). Esta avaliação não levou em conta o aumento do *FOV*, mas sim a comparação de *displays* com tamanhos físicos diferentes. Porém, os dois *displays* foram posicionados em distâncias diferentes do usuário de tal forma que o *FOV* dos dois fosse o mesmo, ou seja, o menor *display* ficava próximo enquanto o maior ficava mais distante (Figura 3.22). Os autores verificaram melhorias na memorização favorecendo a construção de um mapa mental da cena virtual

no uso do *display* maior. Os experimentos que levaram a esta conclusão foram divididos em duas fases: a primeira relacionava ao aprendizado da cena, e a segunda ao teste de memorização. Na primeira fase, os usuários permaneciam 4 minutos explorando a cena. Na segunda fase, lugares específicos deveriam ser encontrados, no menor tempo possível, a partir de lugares aleatórios.



3.23(a): HMD.



3.23(b): Cave.

Figura 3.23: Mesma técnica de interação avaliada em *displays* diferentes (BowmanBM07).

Recentemente Bowman (BowmanBM07) experimentou adaptar *3DIts*, inicialmente desenvolvidas para *HMDs*, para o uso em uma *CAVE*. Além disso, avaliações de desempenho nos dois *displays* (*HMD* vs *CAVE*) foram realizadas. Uma das técnicas escolhidas foi a *WIM* (Figura 3.23). Os resultados dos experimentos apontaram diferenças significantes no tempo de manipulação entre os *displays*. No *HMD*, o tempo foi mais rápido. Os autores apontaram que uma das razões para isto pode ter sido o fato dos usuários terem a ilusão da manipulação do objeto *WIM* localmente, ou seja, nas próprias mãos. Enquanto que na *CAVE*, havia a impressão de uma manipulação indireta, ou seja, uma manipulação de um *WIM* remoto. Nos experimentos não foi levado em conta o uso da esteresocopia e isto pode ter sido um fator determinante para estas conclusões. Posteriormente, algumas adaptações foram feitas na técnica *WIM* para o ambiente da *CAVE* com base nas características do *HMD*. Entre as modificações estavam a redução do tamanho do *WIM* e o treinamento dos usuários na exploração da percepção da tarefa através de mais movimentos

físicos, por exemplo, aproximação maior das superfícies do *display*. Estas modificações apresentaram algumas melhorias, mas ainda assim o *HMD* ficou mais adequado para a realização da tarefa.

Vários estudos sobre a usabilidade e desempenho das *3DIts* foram realizados e algumas condições propícias para a utilização estão sendo identificadas. Estas condições às vezes estão relacionadas a características do próprio *VE*, ou seja, se o ambiente é interno, externo, densamente povoado ou não, entre outros. Outras referem-se a atributos visuais como *FOV*, *FOR*, estereoscopia, *head-based-rendering*, resolução, objetos detalhados (malhas refinadas), imagens foto-realistas (qualidade de rendering) e brilho. Estes atributos visuais podem ter influência tanto de software (via técnicas gráficas) ou hardware através dos *displays*. Características dos dispositivos de entrada (*DOF*, Ergonomia, etc.) também estão sendo verificadas. E, por fim, características do próprio ambiente de execução (espaço físico, presença de superfícies de apoio, iluminação) que aqui vamos referenciar como o *workspace*. Todas estas características mencionadas são também atributos que contribuem para a imersão.

De um modo geral, estes estudos novos e iniciais avaliando diferentes combinações de *3DIts*, *displays*, dispositivos de entrada e aplicações estão mostrando algumas características importantes e, sem dúvida, a interação entre *FOV* e *FOR* dos *displays* foi uma das mais expressivas. Os estudos que avaliaram diferentes tipos de *FOVs* (através de *displays* diferentes) exploraram a visão humana e estão sugerindo algumas relações entre *displays* e tarefas 3D. Os monitores tradicionais, na forma do FishTank, enfatizam a visão focal (central) e fornecem muito pouco de visão periférica. *Displays* fisicamente maiores e com *FOR* elevado, além da visão focal, fornecem uma grande área para a visão periférica. O aumento da visão periférica propicia maior número de informações visuais simultâneas, desta forma, maior espaço para buscas visuais. Tarefas de seleção e navegação são beneficiadas com estímulos visuais vindos tanto da visão focal quanto da periférica. As de seleção são beneficiadas na questão de maior espaço de busca visual instantâneo, enquanto as de navegação, no sentido de se ter noção de localização no espaço (*spatial awareness*), por exemplo, para ajudar a criar mapas mentais. Além dessas duas tarefas, há os benefícios em tarefas envolvendo análise das relações espaciais (topológicas, projetivas e euclidianas) entre elementos. As tarefas de manipulação mostraram uma concentração direcionada a uma área de visão reduzida, coincidindo com a visão focal, o que fez especular uma necessidade pequena da visão periférica. Porém, pelo fato da atenção ficar direcionada para uma área visual menor, outras características passaram a ficar mais evidentes como a resolução e nitidez do *display*.



Outra característica importante levantada foi a preferência por dispositivos 6-*DOFs* em tarefas de manipulação. Apesar dos dispositivos ainda não apresentarem precisão elevada, eles ainda sim propiciam movimentos que naturalmente são feitos durante manipulações com objetos reais. Estes movimentos favorecem inspeções visuais mais rápidas. Além do mais, se mais um dispositivo deste tipo estiver disponível, interações bimanuais são possíveis.

Outra questão observada e relacionada com o dispositivo de entrada e os *displays* é a questão em passar a impressão de uma manipulação direta de objetos ou não. Por exemplo, no caso do trabalho (BowmanBM07), a tentativa de adaptar a *WIM* para a *CAVE* passou a impressão de uma manipulação indireta, ou seja, não estava ao alcance das mãos. Usando um *HMD*, a visão egocêntrica do *VE* é utilizada e o sentido da propriocepção ajuda os usuários na coordenação do feedback visual vindo do *display* e a movimentação das mãos. Uma outra questão neste sentido, é a possível importância do tamanho do objeto sendo manipulado, pois quando o objeto virtual *WIM* foi reduzido nas adaptações para a *CAVE*, melhorias foram observadas, e isso vai de encontro com as observações em (DemiralpKZL06) que apontavam que o objeto manipulado deveria ser menor que o corpo do usuário. Este fato leva a vislumbrar a realização de avaliações em *reachin displays*. A grosso modo, este *display* apresenta similaridades tanto dos *HMDs* quanto dos *FishTanks*, ou seja, permite acesso direto aos objetos virtuais como os *HMDs* e permite uma visualização similar a um *FishTank*. Além disso, não tem os problemas ergonomicos de peso e cabos dos *HMDs*.

Ainda hoje é difícil responder questões pertinentes à tripla (*Displays*, Dispositivo de entrada, *3Dt*) mais adequada para realizar uma tarefa 3D. E talvez esta tripla não seja suficiente para expressar a configuração adequada para uma tarefa 3D, outros fatores relevantes ainda estão por ser descobertos.

### 3.3

#### Interfaces de Transição

Conforme descrito na Seção 2.5, as interfaces de transição foram introduzidas conceitualmente através do projeto *MagicBook* (ButzH99), consistindo em interfaces responsáveis por um caminhar uniforme ao longo do *continuum* da realidade mista (MilgramK94). A aplicação exemplo deste conceito foi feita através do uso de um livro onde o usuário poderia visualizar as suas ilustrações enriquecidas com gráficos 3D através da Realidade Aumentada ou poderia ficar imerso no mundo virtual através da Realidade Virtual Imersiva utilizando um *Handheld-HMD* (Figura 3.24). Este assunto ficou bem relacionado com o *continuum* da realidade mista e ainda foi pouco explorado. Outras referências

sobre trabalhos nesta linha são desconhecidas. Porém esforços para formalizar este conceito estão em andamento.

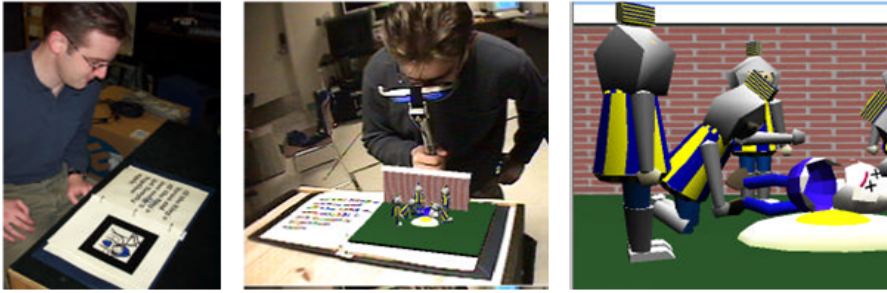


Figura 3.24: *MagicBook* (ButzH99).

Grasset et al. (GrassetLB05, GrassetLB06, GrassetDB08) fez uma proposta inicial para a formalização destas interfaces através de um modelo formal (Figura 3.25).

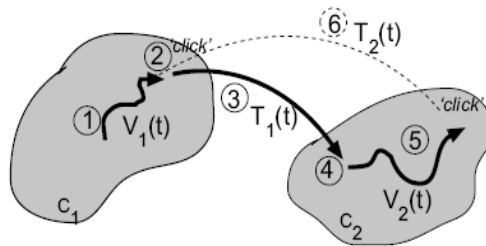


Figura 3.25: Exemplo de descrição de uma interface de transição (GrassetLB06).

Neste modelo há a definição de contexto como um lugar onde os usuários podem interagir e colaborar. Ele abrange os valores dos parâmetros relevantes para uma aplicação. Desta forma, um contexto pode conter um espaço de interação (por exemplo, a *VR*, *AR* e *WIMP*), modos de navegação, formas de representações de dados, assim como qualquer outra forma de parâmetro relevante para a aplicação. Os usuários podem ter um ou mais pontos de vista (*viewpoints*) e estes são controlados por uma função de movimento  $V(t)$ . Além disso, os usuários podem transitar entre contextos diferentes através de uma função de transição  $T(t)$  que é ativada por algum evento. A seguir há uma descrição das ações envolvidas durante um processo de transição de um usuário (Figura 3.25):

- 1) Usuário navegando dentro do contexto  $c_1$  usando a função de movimento  $V_1(t)$ .
- 2) Um evento (*click*) é acionado para iniciar uma transição usando a função  $T_1(t)$ .

3) O usuário permanece em modo restrito onde o seu ponto de vista é transferido para o contexto  $c_2$ .

4) O contexto  $c_2$  torna-se ativo para o usuário.

5) O usuário navega por este novo contexto utilizando a função de movimento  $V_2(t)$ .

6) O usuário tem a possibilidade de voltar para o contexto  $c_1$  novamente acionando um evento apropriado (*click*) para inicializar a função de transição  $T_2(t)$ .

Além deste modelo mono-usuário, Grasset apresentou também uma extensão para multi-usuário acrescentando representações conceituais dos outros usuários e o tratamento da relação entre eles, porém esta extensão está fora do escopo da tese, uma vez que o trabalho não está direcionado para tarefas colaborativas.

O modelo é bem genérico e possibilita extensões, porém ainda está em um estágio inicial carente de refinamentos. Faltam refinamentos nesses parâmetros, assim como uma definição mais clara das características da função de transição, ou seja, quais potenciais critérios e parâmetros poderiam ser utilizados.

### 3.4

#### Continuidade

Dadas as definições descritas na Seção 2.6 com relação à Continuidade, alguns trabalhos sugerem seu uso como uma propriedade relevante para o *design* de interações em Sistemas de Realidade Mista.

Dubois et al. (DuboisNT01) definiram continuidade no aspecto perceptivo e cognitivo. Continuidade perceptiva é caracterizada se o usuário percebe diferentes representações de uma entidade direta e suavemente, enquanto continuidade cognitiva está relacionada com a similaridade de interpretações de diferentes representações de uma mesma entidade.

Em (Trevisan04), continuidade foi definida como a capacidade de um sistema de prover interações suaves durante a realização de uma tarefa considerando propriedades perceptivas, cognitivas e funcionais. Como, aonde e quando uma informação será enviada para o usuário (Propriedade Perceptiva) refletirá o nível de compreensão durante o processo de interpretação dela (Propriedade Cognitiva) e o quão natural será o processo de interação (Propriedade Funcional). Uma propriedade perceptiva é definida como a habilidade do sistema em manter as informações, referentes a uma tarefa, disponíveis em um ambiente de percepção com o objetivo de evitar a mudança de foco do usuário. Uma propriedade cognitiva é definida como a habilidade do sistema de garantir que o usuário vai interpretar todas as informações perceptivas corretamente e to-

das essas informações estão de acordo com o estado interno do sistema. Por fim, uma propriedade funcional é referida como a capacidade de adaptação do usuário de mudar ou aprender novos modos de interação (uso de dispositivos, ferramentas e técnicas).

Pode-se dizer que Trevisan apresentou parâmetros genéricos para as funções de movimento e transição do modelo de Grasset (GrassetLB06). Além disso, os aspectos de continuidade são em si regras de transição genéricas, porém precisam de refinamentos em níveis mais objetivos. Por exemplo, refinar o aspecto Perceptivo da continuidade através das propriedades dos *displays* (Seção 2.3.1) e acrescentar regras que avaliem as mudanças delas durante uma transição  $T(t)$  poderia ser um passo importante.

Os estudos recentes relatados na Seção 3.2 poderiam ajudar a refinar o aspecto Funcional da continuidade, assim como também identificar as possíveis regras de avaliação entre modos de interação, por exemplo, adaptação a novas 3DIts.

### 3.5 Congruência Dimensional

Esta propriedade ficou bem relacionada com a propriedade funcional da continuidade, pois o emprego de uma técnica de interação com uma demanda espacial muito diferente da tarefa a que ela está associada vai culminar numa dificuldade na realização da tarefa. Esta dificuldade pode ter razões na falta de compatibilidade entre o conhecimento prévio do usuário em relação à técnica de interação e conseqüentemente com o dispositivo de entrada de dados usado na técnica.

Analisando a função de movimento  $V(t)$  que Grasset (GrassetLB06) apresentou para movimentar um usuário dentro de um contexto, pode-se dizer implicitamente que nela estão vinculados uma *3DIt*, dispositivos de entrada assim como *display*. A Congruência Dimensional poderia ser utilizada para ajudar a definir esta função assim como para avaliá-la. Além disso, ela também poderia ser utilizada no aspecto funcional durante as transições.

### 3.6 Exibição de Informação e Anotações

A apresentação de informações através de gráficos 3D tem sido bastante utilizada e em algumas situações é feita combinada com gráficos 2D. Mas, determinar objetivamente qual é a melhor forma (2D, 3D, ou a combinação dos dois) ainda é tema para muita pesquisa. Em (HarveyJOC01) foi feito um estudo comparativo destas formas de visualização, e vantagens e desvantagens

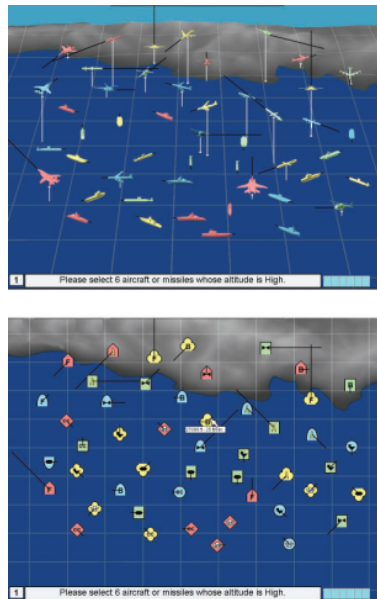


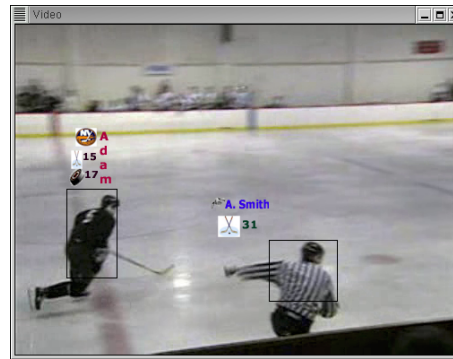
Figura 3.26: Informações exibidas de duas formas: a figura de cima mostra em 3D e a outra em 2D (HarveyJOC01).

foram apresentadas. Os autores realizaram testes utilizando duas aplicações que apresentavam o mesmo dado (símbolos e ícones de navios e aeronaves) de formas diferentes, a primeira apresentava as informações em 2D e a segunda em 3D (Figura 3.26). Os participantes deveriam procurar por algumas informações previamente determinadas. O resultado geral apontou melhor performance no acesso as informações 2D, indicando vantagens como acesso rápido. Os autores concluíram que a dificuldade no acesso as informações 3D acontecia por causa da visualização na tela plana do monitor. Segundo eles, nos monitores planos havia a dificuldade na determinação de características como distância e altitude dos objetos 3D exibidos. Mas vale ressaltar que este estudo não realizou os testes utilizando o recurso da estereoscopia, ou seja, os participantes percebiam os gráficos 3D por características visuais como perspectiva, sombra, sobreposição, etc.

O método mais comum de exibir informações em um mundo virtual é na forma de anotações. Os trabalhos relevantes na literatura são normalmente encontrados para vídeos ou aplicações gráficas 2D ou 3D. Em algumas aplicações com vídeo são necessários complexos algoritmos de rastreamento de câmera para posicionar corretamente as anotações, por exemplo, na publicidade inserida nos vídeos durante as transmissões dos campeonatos de futebol (Figura 3.27(a)). Outras formas consistem no rastreamento de objetos nas imagens



3.27(a): Anotações em jogos de futebol - *sportvision*<sup>18</sup>.



3.27(b): Anotação acompanhando uma pessoa (ThanedarH04).

Figura 3.27: Anotações em vídeos.

(Figura 3.27(b)), ou o posicionamento manual das anotações. A anotação em vídeo está fora do escopo da tese mas algumas referências relevantes são: (ThanedarH04) e (StadlerSB05).

Um aspecto importante sobre as anotações é o cuidado em não obstruir partes relevantes dos objetos aos quais elas estão associadas. Os trabalhos geralmente direcionam esforços na diminuição do *visual clutter* à medida que a quantidade de informações na tela aumenta. Outros esforços estão direcionados para o desenvolvimento de técnicas de posicionamento mais adequado das informações. Em (BellF00) (BellFH01) foram criadas propriedades para cada objeto da cena virtual, como prioridade, visibilidade, transparência, posição, tamanho, entre outras, para permitir o uso de restrições na formação do *layout* das informações.

Um recurso bastante utilizado é a transparência. Isto permite que os objetos que estariam obstruídos pela informação ainda continuem visíveis. Por exemplo, em (RitterSHS03) as caixas de textos são parcialmente transparentes (Figura 3.28) para indicar o texto e não obstruir totalmente o que está atrás.

Entretanto, em algumas situações o objetivo é criar uma sensação espacial no usuário, ou seja, o objetivo da informação é indicar uma posição ou região no espaço. Por exemplo, na aplicação *Photosynth*<sup>19</sup> da Microsoft (Figura 3.29), um ambiente 3D é criado para mostrar a localização de fotos no momento em que foram tiradas. Este ambiente também é utilizado posteriormente para gerar “foto-tours” virtuais dos lugares fotografados.

Um trabalho interessante apresentou visualmente como informação o

<sup>18</sup>[www.sportvision.com](http://www.sportvision.com)

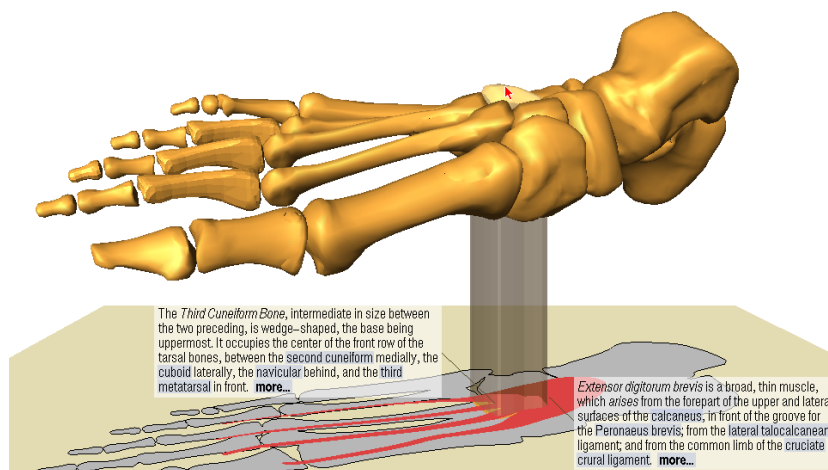


Figura 3.28: Recurso da transparência sendo usado nas anotações (RitterSHS03).

tempo. O projeto de pesquisa *OpenCrimeScene* (BrenneckeSS07) objetiva um ambiente de ensino 3D para investigação de cenas criminais. O tempo foi visualmente caracterizado utilizando diferentes valores da transparência (Figura 3.30).

<sup>19</sup><http://livelabs.com/photosynth/>

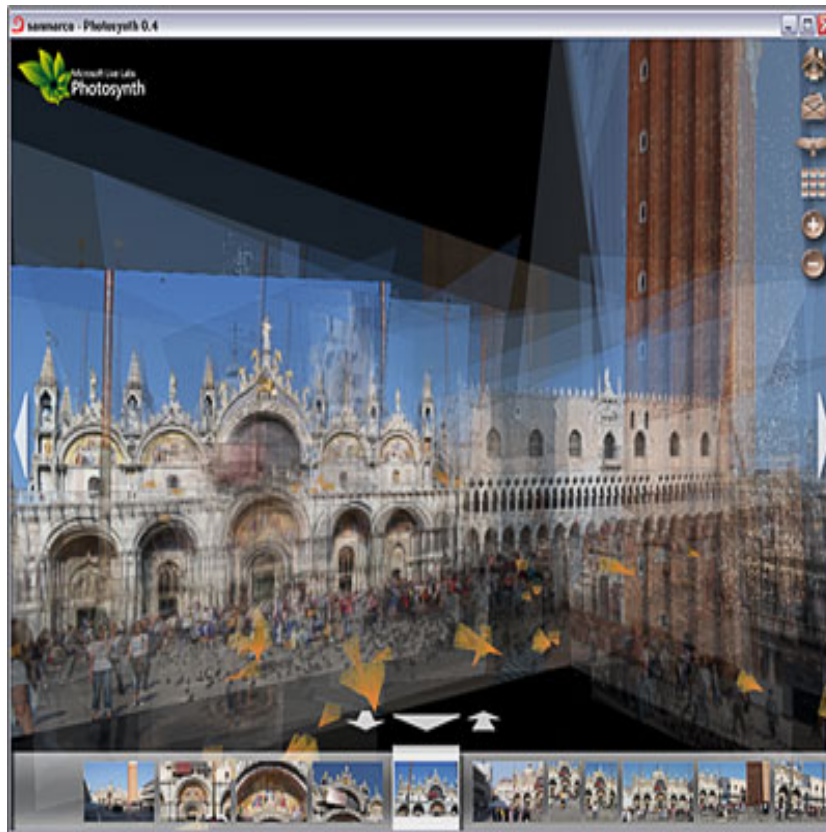


Figura 3.29: *Microsoft Photosynth*<sup>19</sup>.



Figura 3.30: Uso de diferentes valores de transparência para codificar o tempo visualmente (BrenneckeSS07).



## 4

### HybridDesk - Concepção e Implementação

Este trabalho partiu da motivação para criar um *workspace* que agregasse os recursos das tradicionais interfaces *WIMP* mais o acréscimo de outros recursos (hardware e software) que viabilizasse a realização de tarefas interativas 3D. Ou seja, criar uma forma de integrar interfaces 2D e 3D utilizando tecnologias tradicionais e não-tradicionais (*Trackers*, *HMDs*, *Telas Multi-Toque*, *CAVE*, Estereoscopia, entre outros). Esta extensão para interatividade 3D foi inspirada na taxonomia das tarefas de interação 3D (BowmanKLP05) buscando criar ambientes de interação mais direcionados para elas. A decisão por outros recursos de hardware foi motivada pelo conceito da congruência dimensional (DarkenD05) (Seção 2.6). Um processo de integração foi realizado tanto no nível de hardware quanto no de software. A análise das propriedades de continuidade apresentadas em (Trevisan04) serviram como *guidelines* para o design desta integração e permitiram criar transições entre ambientes de interação resultantes. Com a existência destas transições foi possível oferecer outros meios de realizar uma forma de anotação 3D aproveitando as ferramentas tradicionais pertencentes às interfaces *WIMP* e outras não tradicionais utilizadas para realização de tarefas interativas 3D.

Este capítulo tem por objetivo descrever os argumentos que fundamentaram e guiaram a concepção e implementação do *HybridDesk*. Assim, o processo de desenvolvimento do *workspace* descrito neste capítulo detalha uma evolução de experimentações tecnológicas até chegar a um protótipo final. As decisões tomadas para a concepção deste último protótipo foram influenciadas pela elaboração de um outro protótipo inicial e, portanto, as etapas relevantes nesta fase inicial serão também detalhadas.

O capítulo inicia com uma análise dos requisitos da tarefa de anotação 3D seguida de uma descrição dos argumentos que levaram à escolha do hardware utilizado e das decisões tomadas no design das transições entre os ambientes de interação. Por fim, uma visão geral da implementação do sistema de gerenciamento do *HybridDesk* é apresentada.

## 4.1

### Análise da tarefa de Anotação 3D

O design da *HUI* neste trabalho baseou-se na análise da tarefa de anotação 3D e na verificação de seus requisitos, ou seja, a determinação do contexto dos ambientes de interação necessários. Este contexto refere-se ao conjunto de software e hardware utilizado na composição de um ambiente de interação. Esta tarefa foi considerada importante porque pode ser interpretada como uma tarefa contendo tanto elementos simbólicos (informações como textos) comumente encontradas em interfaces 2D, e elementos gráficos encontrados em interfaces 3D. A composição do contexto foi conduzida de acordo com os recentes estudos envolvendo dispositivos de entrada e *displays* na realização das tarefas de interação, conforme abordado na Seção 3.2.

A tarefa de anotação 3D caracteriza-se como uma forma de incluir informações em um *VE*, e frequentemente são informações direcionadas a um objeto particular contido no *VE*. Como uma das motivações neste trabalho foi procurar meios de aproveitar o conhecimento prévio dos usuários, uma das decisões neste sentido foi escolher o ambiente *WIMP* como provedor de ferramentas para criar e editar informações simbólicas. A razão principal para esta escolha foi baseada na maturidade e popularidade das várias aplicações (editores de texto e planilhas, confecção de apresentações, entre outras) contidas neste ambiente. Deste modo, a tarefa de anotação 3D foi idealizada na forma de associações a arquivos no ambiente *WIMP*, ou seja, a criação de “atalhos” (*shortcuts*) dentro do *VE* para dados contidos no ambiente *WIMP*. A representação deste atalho deve assumir a forma de um ícone 3D no formato de um cubo virtual pequeno. A associação deste ícone a um objeto ocorre através do posicionamento espacial manual do mesmo, ou seja, o usuário indica algum lugar específico nas proximidades da malha do objeto. Esta forma de posicionamento dá importância à posição espacial do ícone como uma informação complementar além daquela contida no arquivo referenciado pelo ícone. Pode-se dizer que a representação visual desta tarefa se faz por três estágios: o primeiro pela visualização do ícone 3D no *VE* como uma forma de sinalizar a existência de uma informação; segundo pela verificação da posição 3D do ícone, uma vez que, este posicionamento espacial do ícone é relevante para as informações contidas na anotação; e no terceiro estágio pela visualização do conteúdo da informação por meio de uma aplicação contida no ambiente *WIMP*. Em relação à forma de armazenamento da informação, esta é caracterizada por arquivos no ambiente *WIMP*.

### 4.1.1

#### Sub-tarefas

Depois de definida a forma de representação visual e armazenamento para as informações da tarefa de anotação 3D, a definição do tratamento das necessidades referentes às tarefas 3D dentro do *VE* foi iniciada. Basicamente foram identificadas as seguintes sub-tarefas:

1) **Navegação 3D** : Alguma forma de busca por um objeto no *VE*, ou simplesmente uma forma de exploração que possibilite visualizar os objetos contidos nele;

2) **Seleção e Manipulação 3D** : Formas de seleção e manipulação (no sentido de mudança de posicionamento 3D através de translações e rotações) de objetos para permitir o posicionamento de um ou mais ícones.

Resumidamente, os recursos de hardware e software escolhidos para a HUI deveriam permitir:

- 1) A execução de pelo menos uma *3DIt* para a tarefa de navegação;
- 2) A execução de pelo menos uma *3DIt* para selecionar um objeto para posteriormente ser utilizado para a tarefa de manipulação;
- 3) A execução de pelo menos uma *3DIt* para a tarefa de manipulação;
- 4) Utilização de uma interface *WIMP* (Microsoft Windows XP por exemplo) para criar e editar as informações referente a um objeto selecionado no *VE*.

Além de prover as *3DIts* necessárias, outra preocupação foi procurar explorar recursos de hardware que trouxessem vantagens na realização das tarefas no *VE*, ou seja, explorar a ideia de imersão e os resultados dos estudos apontados na Seção 3.2.

Na tarefa de Navegação, a imersão foi concebida no sentido de criar um incentivo na realização de explorações, e conseqüentemente direcionar uma maior atenção no *VE* como um todo. Estas explorações poderiam ajudar na formação de um conhecimento espacial (*spatial knowledge*) através do conceito do *wayfinding*.

Para a tarefa de manipulação, ficou entendido que seria importante avaliar um objeto isoladamente, examinando detalhes na sua superfície. Isto possibilitaria identificar lugares específicos que poderiam ser alvo de anotações e, conseqüentemente, o posicionamento de ícones. Optou-se por restringir a escolha de *3DIts* que valorizassem a manipulação direta e preferencialmente a curta distância, ou seja, buscar formas de interação que tivessem alguma semelhança com práticas reais para o aproveitamento de habilidades. A ideia de criar imagens que aparentem conter objetos virtuais que estão suspensos no ar em lugares e situações acessíveis à manipulação parece ser atrativo

(BlundelS06). Este contexto induz a curiosidade e atenção do usuário a experimentar mais a interação com o conteúdo digital de forma ativa e direta.

Por fim, o Microsoft Windows XP ficou definido como o ambiente *WIMP* escolhido, desta forma, a utilização do mouse e teclado seria importante, uma vez que estão fortemente vinculados às interações neste ambiente.

Analisando as necessidades mencionadas, uma restrição foi imposta para delinear também a escolha das *3DIts*, assim como o arranjo tecnológico para a execução delas. Essa restrição basicamente referiu-se ao lugar de trabalho: o usuário deveria permanecer sentado durante todas as interações e ter disponível alguma forma de mesa para posicionar pelo menos o mouse e teclado. Esta restrição ficou influenciada pela posição que normalmente os usuários ficam durante o uso do ambiente *WIMP*. Outro fator determinante foi o aproveitamento desta mesa como uma superfície de apoio para os cotovelos e braços, durante a execução das *3DIts*. Pela natureza dos movimentos espaciais durante a execução de algumas *3DIts*, após algum tempo de uso, problemas podem surgir decorrentes de cansaço causado por manter os braços suspensos durante muito tempo. Este apoio poderia beneficiar tanto algumas *3DIts* de navegação assim como de manipulação propiciando apoio para os cotovelos durante o uso de ferramentas de interação como *Wands*.

#### 4.1.2

##### **HUI como Interface de Transição**

Uma vez identificadas as sub-tarefas necessárias para a realização da tarefa da anotação 3D, e a decisão por utilizar o ambiente *WIMP* para uma das tarefas, foi decidido criar um ambiente de interação isolado para a tarefa de manipulação 3D e outro ambiente para a tarefa de navegação 3D. Desta forma, fica evidente a composição de 3 ambientes de interação distintos e interligados para a tarefa da anotação 3D.

A Figura 4.1 ilustra os três ambientes e mostra o fluxo de dados entre eles, e com isto é factível afirmar que a HUI que implementa estes ambientes, e conseqüentemente os interliga, é considerada também uma interface de transição.

#### 4.2

##### **Arranjo Tecnológico - Protótipo Inicial**

Na fase inicial da pesquisa foi decidido por um arranjo tecnológico (CarvalhoRG07, CarvalhoRG07b) envolvendo as seguintes tecnologias:

- 1) Um *HMD* com uma webcam acoplada e um ponto de rastreamento;
- 2) *Tracker* ótico utilizando o SDK ARtoolkit;

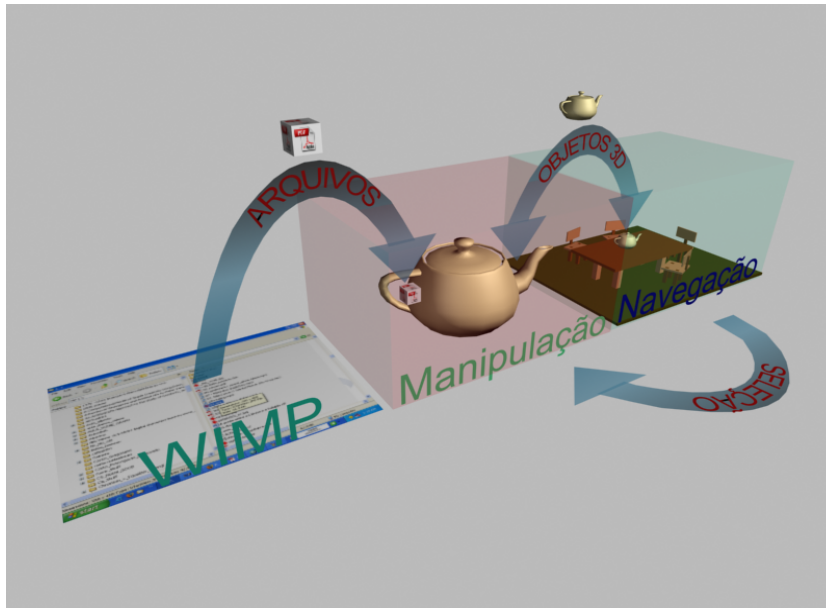


Figura 4.1: Três ambientes para a realização da anotação 3D.

- 3) *Tracker* Eletromagnético - Flock Of Birds;
- 4) Mouse;

#### 4.2.1 Continuidade e Dispositivos

Analisando as propriedades da continuidade, a escolha por um único *display* ao longo de todas as interações foi decidida para manter uma continuidade perceptiva. Neste sentido, um *HMD* foi escolhido (Figura 4.2(a)).

Almejando manter uma continuidade funcional, o mouse foi transformado em uma ferramenta universal através do uso de um *tracker* eletromagnético. Isto foi conseguido através da fixação de um ponto de rastreamento na lateral do mouse (Figura 4.2(b)). Além disso, optou-se por usar o mouse como um dispositivo 3D (através do ponto de rastreamento anexado) para utilizar os dados da sua localização 3D como entrada para as técnicas de navegação e manipulação 3D. Acredita-se que isto mantém uma congruência dimensional entre as tarefas de interação 3D e o dispositivo de entrada.

O termo ferramenta universal está sendo usado aqui como referência a um dispositivo de entrada utilizável em todas as interações do *workspace*.



4.2(a): HMD com uma câmera acoplada para permitir AR do tipo *Video See-Through*.



4.2(b): Mouse com um ponto de rastreamento fixado.

Figura 4.2: Dispositivos utilizados no protótipo inicial

### 4.2.2

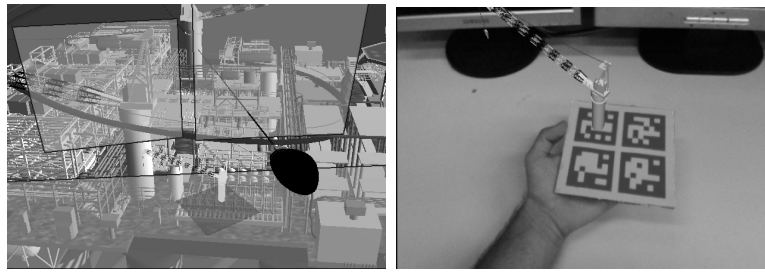
#### Ambientes de Interação

##### AR para Manipulação

O HMD com a webcam acoplada permitiu uma forma de AR do tipo *Video See-Through*. Este tipo de AR ficou evidente com o uso de uma ferramenta que servia como um repositório de objetos virtuais conforme mostra a Figura 4.3(b). Esta ferramenta era composta por uma peça de madeira pequena na forma de um quadrado, e fixado a ela havia um marcador do SDK ARToolkit (este marcador é um ponto de rastreamento). O ARToolkit analisava o marcador na imagem da câmera e informava a posição 3D dele, consequentemente a posição da peça de madeira também, e com esta informação foi possível desenhar (na imagem da câmera) um objeto virtual em cima da peça de madeira. O objeto virtual acompanhava as mudanças de posicionamento e orientação da peça de madeira. Para fins de formalização, esta peça de madeira foi considerada no texto como um dispositivo de entrada neste ambiente.

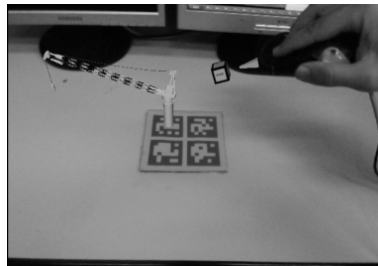
Assim, uma forma de manipulação direta ao alcance das mãos foi disponibilizada para o usuário, conforme o levantamento de requisitos para a tarefa de manipulação definido na concepção do trabalho. Além do manuseio do repositório, uma forma de *Wand* (mouse como ferramenta univesal) foi utilizada para anexar os ícones 3D nos objetos contidos nele (Figura 4.3(c)). Basicamente, se na ponta da *Wand* estivesse algum ícone e este estivesse nas proximidades de um objeto 3D, um evento de clique da *Wand* era o necessário para anexar o ícone.

A câmera utilizada era uma webcam contendo uma lente grande angular que permitia uma visão mais ampla da área de trabalho sem a necessidade de muitos movimentos da cabeça. Apesar do uso da lente, a imagem final utilizada



4.3(a): Seleção de um objeto dentro do *VE*.

4.3(b): Manipulação do objeto utilizando o repositório do ambiente *AR*.



4.3(c): Associação de um ícone 3D a um objeto do *VE*.

Figura 4.3: Alguns passos para a realização da anotação 3D.

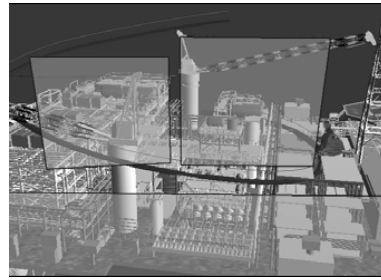
não estava distorcida, pois o driver da câmera disponibilizava um recurso para o tratamento da distorção radial.

### VR para Navegação

Para a tarefa de navegação, a visualização da câmera era desativada e o usuário apenas enxergava as imagens do *VE*. Isto caracterizou um outro ambiente interativo utilizando *VR* imersiva para a tarefa de navegação. Neste modo, além do *VE*, o usuário enxergava uma representação transparente simplificada do ambiente físico ao seu redor, ou seja, a mesa, monitores e os *input devices* utilizados (Figura 4.4). Esta representação transparente era necessária para indicar ao usuário os limites de interação física. Ou seja, houve uma preocupação em disponibilizar uma experiência virtual que não fosse prejudicada por objetos potenciais a colisões, por exemplo, a mesa, os monitores, entre outros, que estavam no *desktop* e próximos ao usuário. O dispositivo de entrada disponibilizado neste modo era um mouse sendo usado como uma *Wand*. Foi implementado um mecanismo de aviso visual a medida que a *Wand* se aproximava das transparências. Este aviso era percebido tornando opacas as regiões das transparências próximas da *Wand*. Os repositórios do ambiente



4.4(a): Visualização do ambiente físico potencial a colisão do ponto de vista do usuário



4.4(b): Visualização de 4.4(a) por meio de transparências dentro do *VE*

Figura 4.4: Uso de transparências como indicador de potenciais colisões.

*AR* estavam também presentes, mas sendo visualizados como transparências, e serviram como um elo para o ambiente *AR*, uma vez que os objetos escolhidos do *VE* no ambiente *VR* (Figura 4.3(a)) eram enviados para o ambiente de *AR* por meio destes repositórios (Figura 4.3(b)). Esta ideia de um “elo” entre os dois ambientes foi idealizada para criar uma forma de continuidade cognitiva entre eles, ou seja, utilizou-se um recurso visual com o intuito de ajudar a interpretar que o objeto escolhido no ambiente *VR* era o mesmo no ambiente *AR*. Duas *3DIts* foram disponibilizadas no *VR*, uma para seleção através da *raycasting*, e outra para navegação através de uma *3DIt* do tipo *steering* onde o vetor de direcionamento era dado pelo orientação da *Wand*.

### **WIMP para criar conteúdo para as anotações**

Para permitir a utilização do ambiente *WIMP*, deparou-se com um problema referente à limitação tecnológica da webcam, que tinha uma resolução relativamente pequena (640x480). A visualização da tela de um computador através de uma câmera com uma resolução baixa como esta ficaria pouco adequada para a verificação de detalhes na imagem final, por exemplo, a leitura dos nomes dos arquivos. Por outro lado, o *HMD* disponibilizado no laboratório não deixava de ser um *display* bidimensional e permitia resoluções razoáveis como 1024x768, ou seja, uma alternativa poderia ser a transferência da visualização da interface *WIMP* do monitor para o visor do *HMD*. Esta transferência possibilitaria a interação com o sistema operacional visualizando-o no próprio *HMD*. Mas um problema surgiu quanto ao uso do teclado nas duas alternativas. Na primeira ficaria difícil interagir com o teclado visualizando-o através de uma câmera; e na segunda não haveria a visualização do teclado pois o usuário



apenas enxergaria o *WIMP* no *HMD*. Porém, optou-se investir um esforço em um protótipo inicial assumindo a segunda alternativa e excluindo o uso do teclado. Esta decisão possibilitou somente um uso parcial da *WIMP* através das manipulações do mouse para seleção e gerenciamento de arquivos. As possibilidades de edição de documentos e o uso de outros aplicativos através do teclado foram automaticamente excluídas. Esta utilização da *WIMP* no *HMD* caracterizou mais um ambiente de interação.

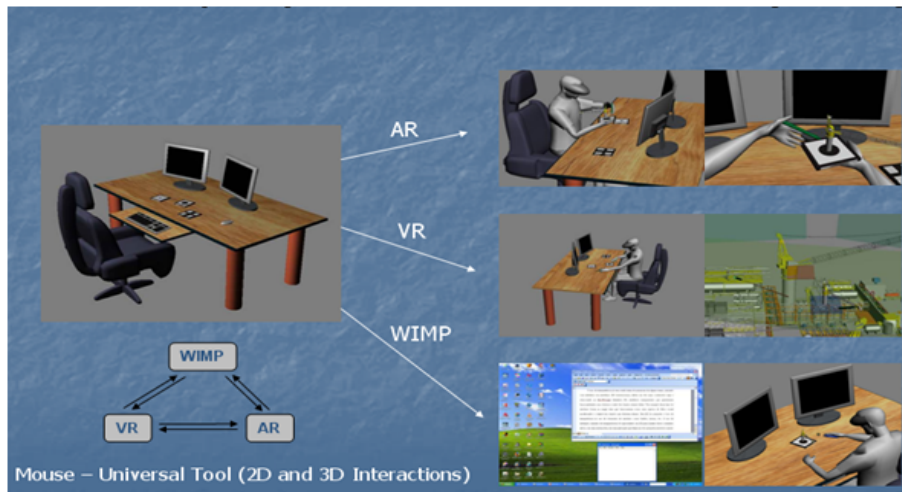


Figura 4.5: Os três ambientes interativos do Protótipo Inicial.

Com a descrição da junção desses equipamentos é razoável afirmar que este arranjo tecnológico permitiu criar uma interface de transição que possibilitava caminhar ao longo de três ambientes: *VR*, *AR* e *WIMP* (Figura 4.5). A interface *VR* foi utilizada para suprir as necessidades das tarefas de navegação, a *AR* para as tarefas de manipulação e a *WIMP* para realizar parcialmente as tarefas tradicionais de *desktop*.

### 4.2.3

#### Avaliação Empírica e Erros

Foi possível observar através de avaliações empíricas realizadas neste arranjo com usuários que alguns dos problemas encontrados foram confirmações de problemas já mencionados na literatura:

- 1) O uso do *HMD* por algum tempo começava a causar desconforto devido ao seu peso;
- 2) A falta de estereoscopia no *VR* (limitação do *HMD*) pode ter sido uma das razões que dificultava a avaliação da profundidade entre as ferramentas de interação e as transparências da mesa;
- 3) Câmera com baixa resolução;

4) A visualização do mundo real pela *AR Video See-Through* dava uma impressão que os elementos estavam mais distantes, como se fossem menores. Provavelmente isto foi resultado direto do uso da lente grande angular que aumentou o *FOV* da câmera, e desta forma, englobou mais informação em um espaço de imagem pequeno. Pode-se dizer que houve uma “compressão visual” dos elementos na imagem aparentando uma redução de tamanho dos mesmos;

5) Visualização do ambiente *WIMP* no *HMD* era um pouco confusa por problemas de brilho. Às vezes era difícil identificar aonde o mouse estava na tela;

6) O teclado não pôde ser utilizado.

Apesar das regras de continuidade terem ajudado a desenhar este arranjo tecnológico que conceitualmente apresentava características de continuidade promissoras, a capacidade tecnológica do hardware escolhido era muito limitada. Este primeiro protótipo serviu como motivação para continuar evoluindo nas ideias, porém com outro hardware.

### 4.3

#### Arranjo Tecnológico - Protótipo Atual

Nesta fase de desenvolvimento, o ambiente criado fez uso de um arranjo tecnológico mais sofisticado, integrando as seguintes tecnologias:

1) *MiniCave* : Um sistema de visualização baseado em projeções inspirado em uma *CAVE* de 4 lados (Frontal, Lateral Esquerda, Lateral Direita, Inferior);

2) Monitor *LCD* : Um monitor do tipo *LCD*;

3) Tracker Ótico : Um sistema de rastreamento ótico composto por duas câmeras, pontos de rastreamento na forma de marcadores compostos por conjuntos de esferas retro-reflexivas;

4) Mouse e Teclado;

5) Uma *Wand*;

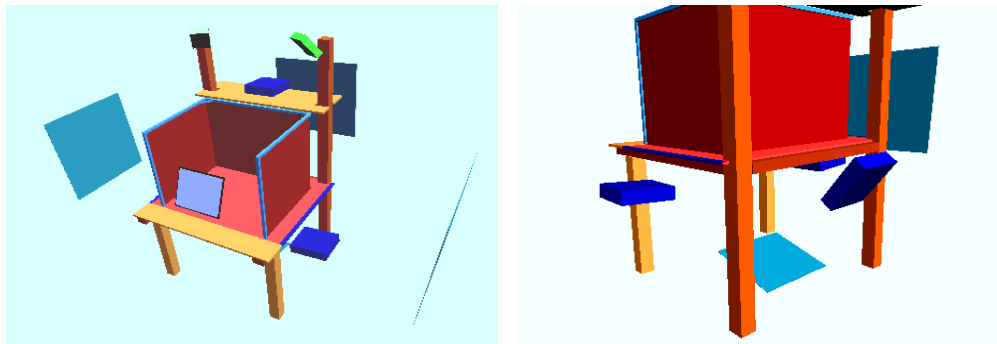
6) *Head-Tracking* + Óculos estereoscópicos;

Na Figura 4.6 há o esquema de uma maquete virtual que guiou a construção do workspace. A explicação das suas componentes são apresentadas na seção seguinte.

#### 4.3.1

##### Dispositivos

Uma estrutura de madeira foi construída na forma de uma mesa composta por quatro pernas mas sem o tampo (Figura 4.7). Duas das pernas foram prolongadas formando duas hastes com a altura de dois metros. Uma prateleira de madeira foi fixada próximo ao topo das hastes com espaço para acomodar



4.6(a): Visão Frontal.

4.6(b): Visão Traseira.

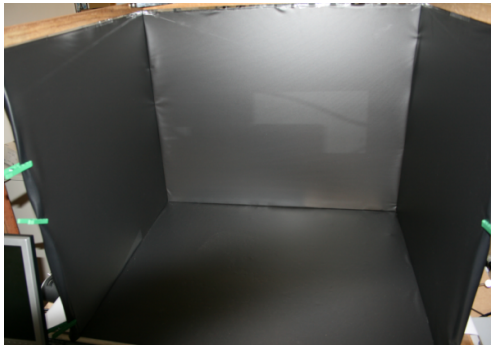
Figura 4.6: Concepção ilustrada por uma maquete virtual.

Figura 4.7: Estrutura de madeira do *workplace*.

um projetor convencional. Uma outra peça de madeira foi fixada na frente da estrutura para servir de apoio para dispositivos como mouse e teclado, além disso, como apoio para os braços.

A *MiniCave* foi idealizada utilizando peças de vidro apoiadas sobre uma peça de acrílico (Figura 4.7). As telas de projeção utilizadas foram do tipo *back-projection Da-Lite 3D Virtual Black* ([www.da-lite.com](http://www.da-lite.com)). Este tipo de tela permite a utilização de estéreo do tipo passivo usando luz polarizada e estéreo anaglifo (ver Apêndice A), mas por enquanto, somente o estéreo anaglifo foi utilizado. As três telas sobre o acrílico foram posicionadas ao longo das três peças de vidro na parte interna do cubo (Figura 4.8(a)). Estas telas e as respectivas peças de vidro ficaram fixadas por uma estrutura de madeira em forma de U (Figura 4.8(b)). Uma quarta tela foi posicionada na parte superior do acrílico, alinhando-a com as telas apoiadas no acrílico. Prendedores de roupa foram utilizados para “esticar” as telas nas laterais das peças de vidro.

Um jogo de espelhos foi utilizado para diminuir a distância entre cada projetor e as telas correspondentes. Para isto, armações de madeira contendo



4.8(a): As 4 Telas de Projeção da *MiniCave*.



4.8(b): Peça de madeira em U para fixar as peças de vidros e as telas.

Figura 4.8: Componentes da *MiniCave*.

um espelho foram construídas (Figura 4.9(a)). Para as duas telas laterais, os projetores ficaram posicionados nas laterais da estrutura um pouco abaixo da peça de acrílico sobre uma prateleira de madeira (Figura 4.9(b)). Os espelhos correspondentes a estes projetores foram posicionados à frente com uma inclinação pequena de tal forma que a imagem projetada ocupasse corretamente as telas de projeção.

O projetor responsável pela tela frontal foi posicionado em uma prateleira acima dela. Para evitar uma grande inclinação e o uso elevado de *keystone* (recurso comumente encontrado em projetores para correção de deformações de perspectiva nas imagens projetadas), este projetor ficou posicionado de “cabeça para baixo” (Figura 4.10(a)).

Abaixo da peça de acrílico, no chão, um espelho foi posicionado inclinando-o em um ângulo pequeno de aproximadamente 15 graus. Para o projetor correspondente foi construída uma armação de madeira similar às usadas para os espelhos. Esta armação possibilitou inclinar o projetor para baixo de tal forma que a imagem ficasse projetada na área do espelho que estava no chão (Figura 4.10(b)).

O sistema de *tracking* utilizado foi o *BraTrack* ([www.bratrack.com](http://www.bratrack.com)). Esta solução é composta de duas câmeras, um conjunto de marcadores, e uma máquina dedicada para o processamento do rastreamento. As posições rastreadas pelo sistema são enviadas através da rede. As câmeras foram posicionadas no alto de cada haste da estrutura, e direcionadas para baixo de tal forma que o espaço interno da *MiniCave* estivesse dentro da sua área de cobertura (Figura 4.11).

O monitor *LCD* ficou fixado em um sistema de trilhos posicionado horizontalmente na altura da peça de acrílico e, conseqüentemente, à frente da *MiniCave* (Figura 4.12(a)). Isto permitiu que este *display* tivesse mobilidade



4.9(a): Armação de madeira contendo um espelho.



4.9(b): Projetor e espelho para a tela lateral do *workspace*.

Figura 4.9: Espelho Lateral.

ao longo do eixo dos trilhos e deslizasse para a lateral da *MiniCave* (Figura 4.12(b)).

A *Wand* foi concebida fixando marcadores em um Wiimote (*joystick* do game console Wii da Nintendo). O *head-tracking* foi possibilitado fixando marcadores em um óculos do tipo estéreo anaglifo (filtro de cores do tipo vermelho-ciano) utilizado pelo usuário durante as interações (Figura 4.13).

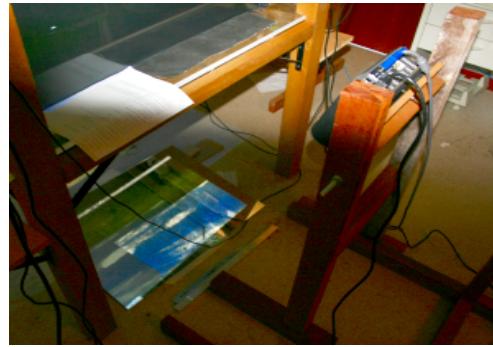
O mouse e o teclado ficaram posicionados na peça de madeira à frente do sistema de trilhos do *LCD* (Figura 4.13(c)).

Resumidamente, o *HybridDesk* utiliza no mínimo 5 saídas de vídeo: 4 para os 4 projetores e uma para o *LCD*. Além dessas, uma saída adicional foi utilizada para um monitor usado como gerenciador, na qual uma tela de *overview* do mundo virtual foi exibida. Desta forma, no protótipo implementado, um total de 6 saídas de vídeo foram utilizadas. Para isto, uma placa de vídeo aceleradora 3D com duas saídas de vídeo e mais dois *splitters* (divisores) de vídeo foram necessários. Os *splitters* são do tipo *TripleHead2Go* (Figura 4.15(a)) e estes dividem uma saída da placa em outras três. Desta forma, um *desktop* estendido ao longo de duas saídas foi criado, a primeira continha a resolução de 2400x600 (três vezes 800x600) e a segunda 3072x768 (três de 1024x768) (Figura 4.14). Estas duas saídas juntas formavam um *desktop* estendido grande exibido ao longo de todas as telas e o monitor *LCD* (Figura 4.15(b)).

Para geração e gerenciamento dos gráficos 3D foi utilizada a biblioteca



4.10(a): Projetor e espelho para tela de projeção frontal.



4.10(b): Espelho e projetor para a tela inferior da *MiniCave*.

Figura 4.10: Projetores e Espelhos.



Figura 4.11: Câmeras do sistema de *tracking* ótico posicionadas para cobrir o espaço interno da *MiniCave*.

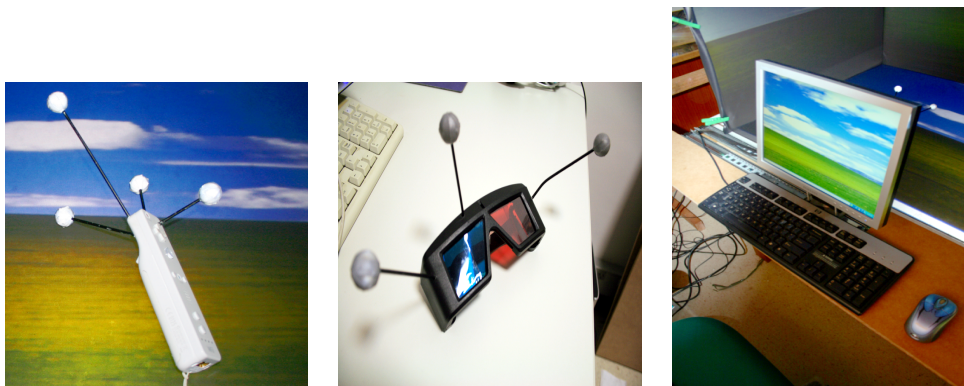
*OpenSceneGraph* ([www.openscenegraph.org](http://www.openscenegraph.org)) baseada na ideia de grafos de cena. O sistema renderiza e gerencia 6 câmeras virtuais no *VE*: 4 para a *MiniCave* (Figura 4.16), uma para o *LCD*, e uma adicional para uma visão geral da posição do observador e conseqüentemente da *HybridDesk* dentro do *VE* (Figura 4.17(b)). Para as câmeras da *MiniCave* e do *LCD* interno são geradas imagens estereoscópicas do tipo anaglifo (vermelho-ciano), desta forma, 10 quadros por passada são computados para gerar os olhos esquerdo e direito para cada câmera. Na Figura 4.17(a) há uma foto da posição da cabeça do usuário olhando para a *MiniCave* e vendo as imagens geradas da Figura 4.16.



4.12(a): LCD no centro.

4.12(b): LCD ao lado da *MiniCave*.

Figura 4.12: Sistema de Trilhos.

4.13(a): *Wand* adaptada usando um Wiimote e marcadores de rastreamento óptico.

4.13(b): Óculos estereoscópico do tipo anaglifo com marcadores de rastreamento óptico.

4.13(c): Teclado e Mouse à frente da *Minicave*.Figura 4.13: Acessórios para interação no *workspace*.

### 4.3.2 Ambientes de Interação

Ao contrário do primeiro protótipo, a instalação e configuração deste novo *setup* fez uso de outros *displays*, explorando mais a ideia da semi-imersividade. Analisando os estudos relatados na Seção 3.2, nota-se que cada tarefa de interação 3D, de certa forma, tem sido beneficiada com algumas características dos *displays* (ver Seção 2.3.1). As tarefas de navegação de um modo geral aparentam ter benefícios com um *FOV* e *FOR* elevado. Isto também mostra vantagens na realização de buscas durante tarefas de seleção, pois o espaço visual “instântaneo” torna-se maior. Já as tarefas de manipulação mostram indícios de serem mais propícias a estímulos visuais em uma área restrita de visualização, o que leva a crer a necessidade de um *FOV* mais restrito. Porém, como o foco e conseqüentemente a atenção ficam

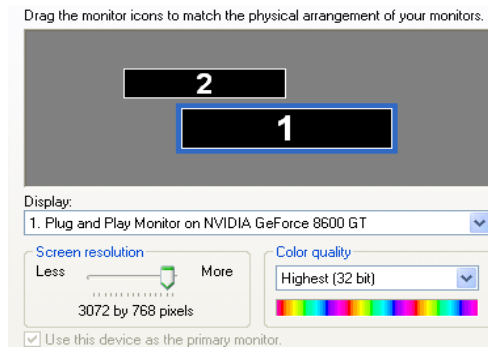
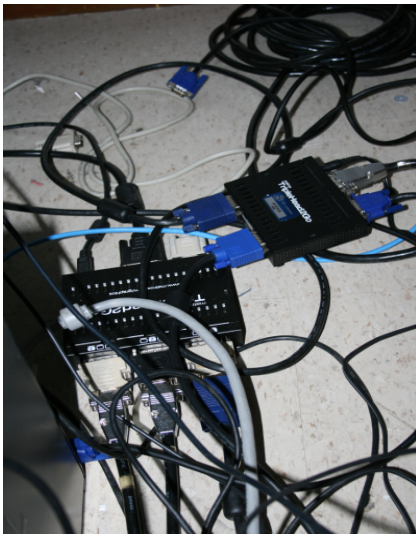


Figura 4.14: Resolução do desktop : 2400x600 e 3072x768.



4.15(a): Dois *TripleHead2Go* para permitir as 6 saídas de vídeo necessárias para o *workspace*.



4.15(b): *Desktop* estendido ao longo das telas.

Figura 4.15: Saídas de vídeo do *workspace*.

mais intensos nesta área, detalhes visuais passam a ser mais observados. Desta forma, características como brilho, resolução, nitidez e foto-realismo tornam-se igualmente importantes.

Nesta nova abordagem, algumas decisões foram ponderadas em relação às propriedades da continuidade para permitir explorar mais características favoráveis dos *displays* nas tarefas de interação. Isto levou a algumas descon- tinuidades, principalmente na propriedade perceptiva, uma vez que mais de um *display* foi utilizado nesta abordagem, forçando assim o usuário alternar entre os mesmos. Na Figura 4.18 estão os dispositivos e *displays* utilizados em cada ambiente de interação, assim como as trocas de dispositivos necessárias (descontinuidades funcionais) durante as transições entre os ambientes.



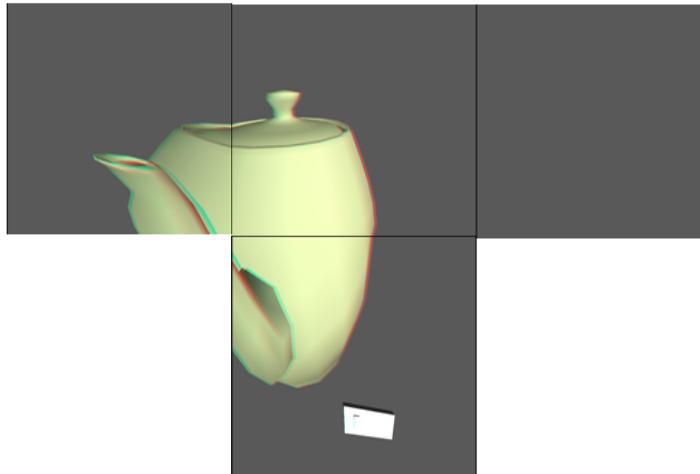
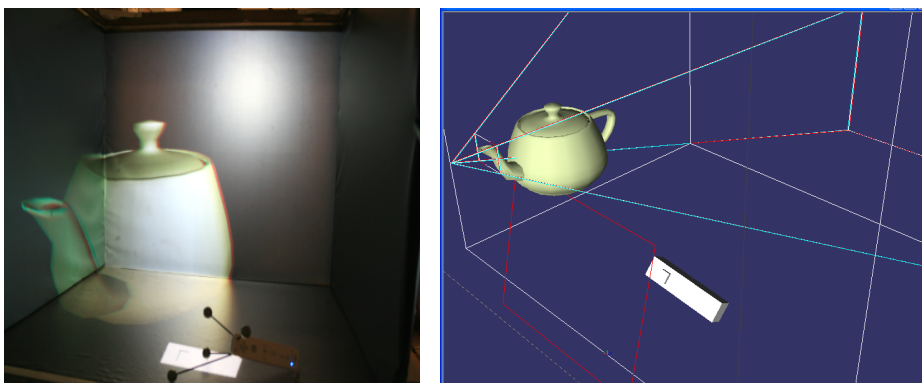


Figura 4.16: Geração das imagens das 4 câmeras virtuais para a MiniCave.



4.17(a): Visão do usuário da MiniCave para o cenário gerado na Figura 4.16

4.17(b): Visão geral do mundo virtual para o cenário da gerado na Figura 4.16

Figura 4.17: Composição das projeções na MiniCave.

## WIMP

Para interface *WIMP*, as telas da MiniCave e o do *LCD* foram disponibilizadas como único *desktop*. Sendo o *LCD* considerado a tela inicial e as demais para organização das janelas. Os dispositivos de interação convencionais (mouse e teclado) foram disponibilizados nesse ambiente, mantendo a congruência dimensional das tarefas de *desktop* e a natureza destes dispositivos. As interações neste ambiente permaneceram as referentes ao ambiente Windows XP, desta forma, a visualização, manipulação e escolha de um arquivo para envio para o ambiente *VR-Manip* se faz por meio das interações usuais do Windows XP utilizando o mouse e teclado. Não houve nenhuma alteração nas funcionalidades de interatividade deste ambiente, apenas a inclusão de menus de contexto para mover-se para os outros ambientes. Estes

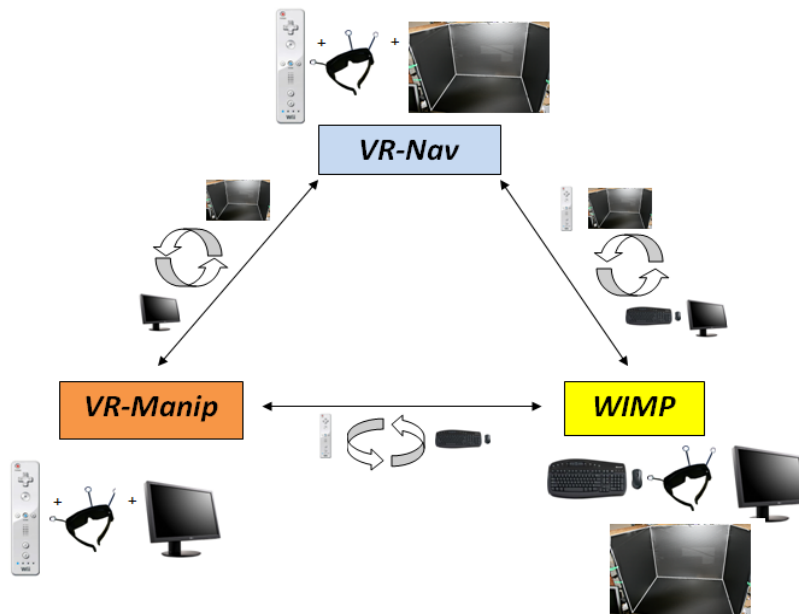


Figura 4.18: Dispositivos utilizados em cada ambiente e as trocas necessárias durante as transições.

menus serão explicados na seção de transições (Seção 4.4).

### VR - Nav

O ambiente interativo semi-imersivo *VR-Nav* é caracterizado pelo uso simultâneo das quatro telas de projeção para proporcionar uma área física de visualização maior juntamente com um *FOV* elevado. Na Seção 3.2 alguns trabalhos indicam que estas características trazem benefícios para tarefas de navegação, tanto na locomoção como no *wayfinding*.

Como dispositivo de entrada neste ambiente de interação, uma *Wand* ficou disponível. No *VE*, uma representação virtual desta *Wand* foi acrescentada com similaridades na aparência. Esta representação acompanha todos os movimentos da *Wand* real (Figura 4.19). O *head-tracking* ficou habilitado neste ambiente, juntamente com a visualização estéreo do tipo anaglifo.

O espaço físico de interação fornecido por uma *CAVE* permite a execução de uma variedade de técnicas de interação através de movimentos físicos envolvendo braços, mãos e até pernas. Mas as técnicas de navegação envolvendo locomoção física não são muito aproveitadas neste ambiente porque seu espaço físico é pequeno, impossibilitando andar longas distâncias. De forma abrangente, a grande vantagem da *CAVE* é a sua imersão proporcionada pelas superfícies que envolvem o usuário, bem como a possibilidade da execução de técnicas envolvendo braços e mãos livremente. Por causa destas vantagens, buscou-se inspiração no formato das *CAVES* para o ajuste das superfícies de

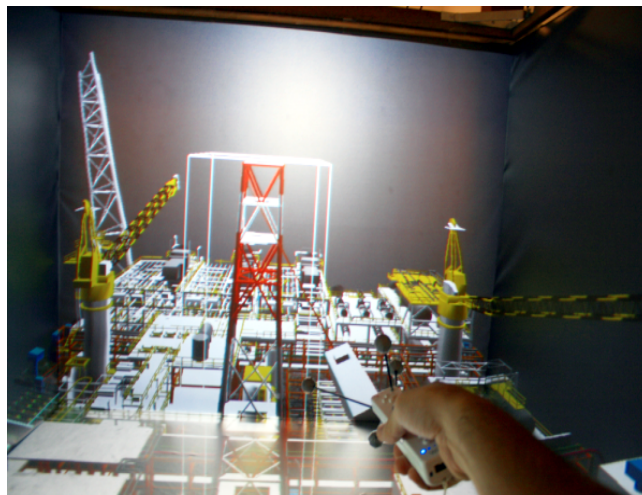


Figura 4.19: *Wand* virtual acompanhando os movimentos da *Wand* real.

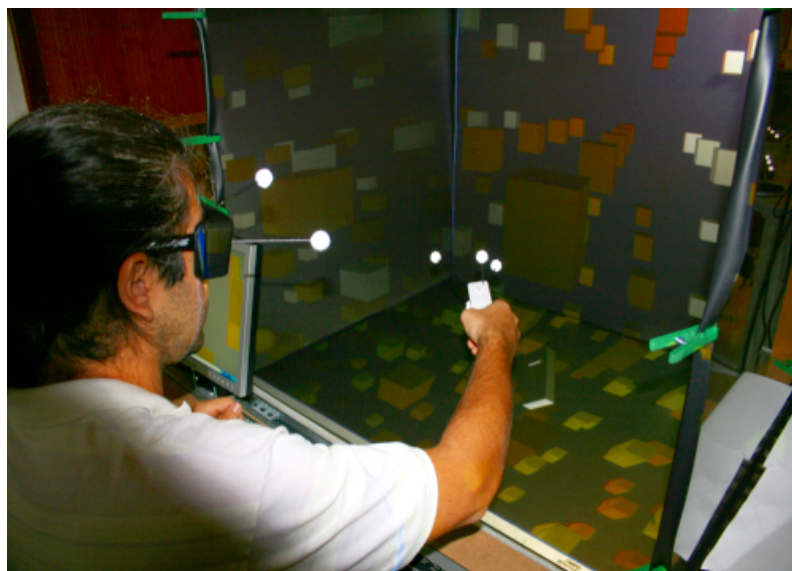


Figura 4.20: *VR Nav*.

projeção no ambiente proposto, procurando uma imersão parcial que estimulasse visualmente o usuário e ao mesmo tempo disponibilizasse espaço para realizar movimentos físicos com os braços e mãos. A característica da CAVE de permitir a permanência do usuário em pé teve que ser sacrificada para possibilitar o uso dos outros ambientes, procurando manter uma postura física (posição sentada) comum ao longo da execução das tarefas em todos os ambientes interativos do sistema híbrido.

Apesar da perda de mobilidade para tarefas de navegação envolvendo locomoção física e outras formas de manipulação, pode-se presumir que este ambiente apresenta algumas vantagens na questão de fadiga durante as interações por ele oferecidas. Esta redução da fadiga está diretamente vinculada à posição sentada que o usuário permanece durante o uso do ambiente, assim

como a presença de superfícies de apoio para os braços. Vale ressaltar que em (BlundelS06) é mencionada uma questão importante de usabilidade referente à fadiga onde são levantadas algumas observações:

1) O desconforto decorrente das interações por intervalos prolongados de tempo tem como uma das explicações o fato de ter que segurar artefatos físicos de interação no espaço sem o apoio das mãos ou braços em alguma superfície de apoio;

2) Sem uma superfície de apoio, o que pode servir como um ponto estático de referência, pode resultar no aumento da dificuldade em realizar operações mais precisas;

3) Se for frequente o uso de movimentos de grande alcance, comparando-se com a movimentação de curto alcance feita usando *joysticks* ou mouse, isso pode resultar em ganho de tempo durante as movimentações, mas a possibilidade de ocorrência de problemas relacionados à fadiga muscular é maior;

Duas *3DIts* de navegação foram disponibilizadas. A primeira *3DIt* foi baseada na técnica “*grabbing the air*”, ou seja, a locomoção virtual realizando arrastos usando a *Wand*. O arrasto é realizado mantendo pressionado o botão “B” da *Wand* durante os movimentos da *Wand*. A segunda *3DIt* realiza movimentos utilizando as teclas de navegação na *Wand*. A tecla “Up” causa uma locomoção na direção da *Wand*; a tecla “Down” realiza o mesmo movimento na direção inversa; a tecla “Right” realiza um movimento para o lado direito do usuário e a tecla “Left” para o lado esquerdo.

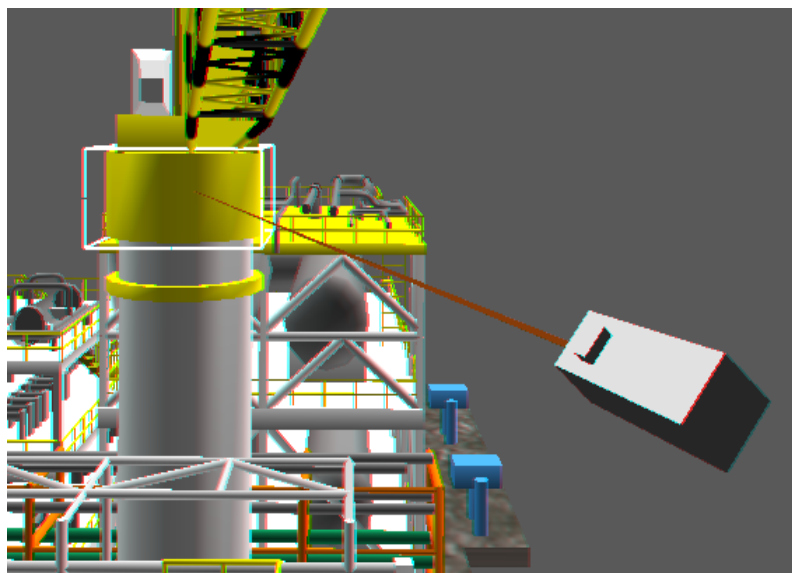


Figura 4.21: Raio partindo da representação virtual da *Wand*.

Uma *3DIt* do tipo *raycasting* foi implementada e acionada pelo botão “A” da *Wand*. Uma vez ativo o raio e em cima de algum objeto 3D, um outro

clique no botão “A” aciona a seleção deste objeto. O raio virtual iniciava da ponta da representação virtual da *Wand* (Figura 4.21).

Sendo a *Wand* um dispositivo de natureza 3D, por conter dados contínuos referentes à sua localização e orientação espacial, acredita-se que com a escolha dela como dispositivo deste ambiente foi mantida uma congruência dimensional nas *3DIts* oferecidas, uma vez que todas necessitavam de informações de natureza 3D para sua realização. A *3DIt* “*Grabbing in the Air*” necessita de pontos 3D para calcular um delta de movimento, e a navegação por teclas e o *raycasting* necessitam de um vetor direção 3D.

Além da navegação, a tarefa de manipulação direta de objetos poderia ser realizada também na MiniCave através da interação com os objetos no paralaxe negativo, porém esta funcionalidade foi desabilitada devido aos problemas decorrentes da obstrução de objetos virtuais por objetos reais e vice-versa (ver propriedade *Masking* na Seção 2.3.1).

## **VR - Manip**

O terceiro ambiente foi direcionado para tarefas de manipulação de objetos virtuais ao alcance das mãos conforme os requisitos levantados inicialmente. Este ambiente foi inspirado na ideia de *reachin displays* para permitir a manipulação de objetos ao alcance das mãos. A grande maioria dos *reachin displays* utiliza superfícies finas como espelhos e vidros para exibir o conteúdo digital normalmente proveniente de um monitor CRT. Apesar dos atuais monitores *LCD* não serem da mesma espessura que um vidro ou espelho, acreditamos que este *display* fornece também um acesso viável à sua parte traseira. Desta forma, a interação com as mãos é realizada diretamente atrás do monitor *LCD* (Figura 4.22), ao invés de interagir atrás de uma superfície refletora.

Outra inspiração foi o *setup fishtank*, no sentido de prover o *head-tracking* durante a interação na frente do monitor. Tal fato em conjunto com as características dos *reachin displays* poderiam ser vistos como uma forma de “acesso ao *tank*”.

O dispositivo de entrada disponibilizado neste ambiente é a mesma *Wand* disponibilizada no ambiente *VR-Nav* (Figura 4.23) e apresenta a mesma representação virtual dela. Mesmo o usuário não vendo as mãos e nem as representações reais dos apontadores (somente as representações virtuais), o fato de estar próximo e consistente com os movimentos das mãos pode vir a ser uma vantagem.

A *3DIt* implementada neste ambiente é baseada na associação direta de movimento entre um objeto virtual (o objeto escolhido visualizado no *LCD*) e uma ferramenta de interação física, a *Wand*. A técnica necessita manter o



4.22(a): Visão lateral.



4.22(b): Visão do Topo.

Figura 4.22: Ambiente para manipulação de objetos virtuais inspirado nos *Reachin Displays* e *FishTank*

botão “B” pressionado para que o objeto acompanhe os movimentos da *Wand*.

Assim como no *VR-Nav*, acredita-se que aqui foi mantida uma congruência dimensional da 3DI implementada, dado que a *Wand* forneceu os dados 3D necessários para realizar os arrastos e rotações para manipular o objeto escolhido.

No *VR-Manip* o arquivo escolhido no *WIMP* fica simbolizado por um ícone 3D na ponta da representação virtual da *Wand* (Figura 4.24). Para anexar o ícone no objeto é preciso clicar no botão “A”, feito isso, o arquivo aparece anexado ao objeto 3D no *VR-Nav* com uma linha conectando o ícone 3D ao centro do objeto 3D.

Entretanto, com o resultado obtido do processo de integração desta forma de *reachin display* com a *MiniCave* não foi possível dispor de todas as vantagens dos *setups* convencionais dos *reachin displays*. Por exemplo, estes *setups* normalmente sustentam um monitor do tipo CRT ou do tipo auto-estéreo em um suporte horizontal, e abaixo deste suporte fica uma superfície refletora inclinada (ver Seção 3.1). Entretanto, seria difícil a mobilidade destes suportes dentro da estrutura do *workspace*, uma vez que um dos objetivos principais foi minimizar o esforço físico na troca dos ambientes de trabalho.

Outro problema ficou vinculado à integração do sistema de *tracking* neste *setup*. Normalmente estes sistemas quando integrados nos *reachin displays* são posicionados para atuarem atrás da superfície refletora, para isto o *tracking* deveria estar posicionado atrás e abaixo da estrutura (ver *PSS* na Seção 3.1), porém isto iria impossibilitar o uso da tela de projeção frontal da *MiniCave*. Além disso, o *head-tracking* ficaria também comprometido pela obstrução

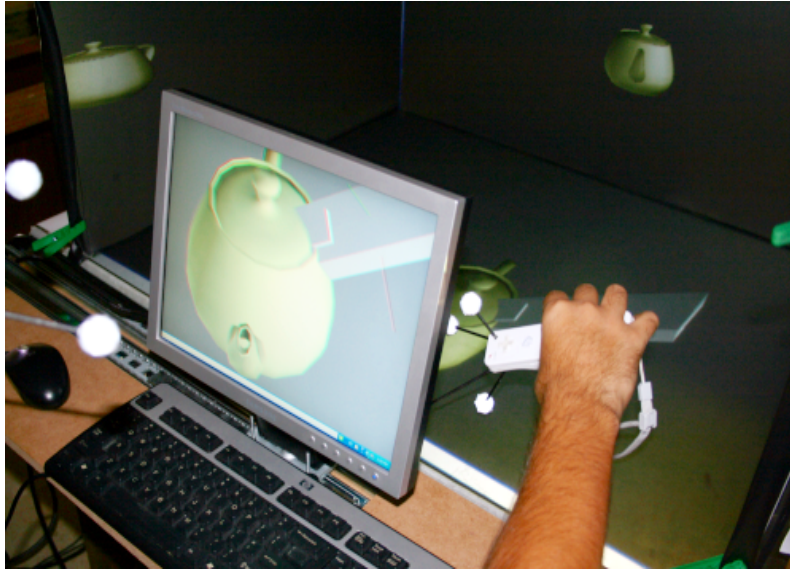


Figura 4.23: VR Manip.

causada pela estrutura toda do *display*, ocasionando falta de visibilidade do marcador localizado na cabeça do usuário.

O *LCD* não ficou posicionado como as superfícies refletoras convencionais, pois nesta posição poderia haver obstrução dos apontadores dificultando o processo de *tracking*. Desta forma, foi assumido o posicionamento vertical do *LCD* facilitando assim a sua aproximação da MiniCave e proporcionando espaço para o usuário apoiar os cotovelos durante as interações de manipulação.

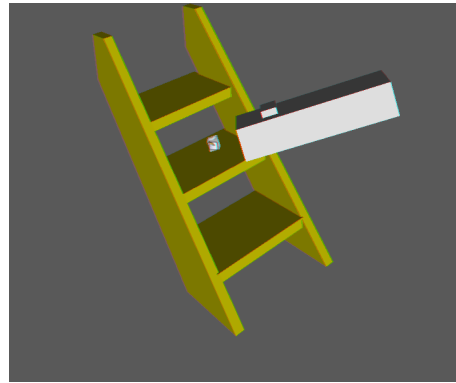
Apesar do *LCD* ficar posicionado quase verticalmente, isto não impede a visualização dos objetos virtuais que não estão atrás do *display*, isto porque o *head-tracking* estará habilitado. Com o *head-tracking* habilitado o *LCD* vai ser visto como uma janela para um mundo virtual acessível atrás dele. Isto quer dizer que o usuário poderá movimentar a cabeça para explorar melhor o que está atrás desta “janela virtual”.

Como o uso do *head-tracking* também foi habilitado neste ambiente, a imagem gerada no *LCD* está diretamente ligada com a câmera virtual formada pela posição do usuário e os 4 cantos do *LCD*. Porém, estes cantos não são determinados em tempo real, para isto, foi capturada previamente a posição dos cantos na posição real de uso (quando o *LCD* está totalmente à direita na frente da MiniCave). Ou seja, houve uma calibração estática da posição do *LCD* para ser usada como informação durante toda a interação no *VR-Manip*.

A opção por integrar ao ambiente algo inspirado nesta tecnologia é uma tentativa de incorporar a vantagem do acesso a objetos virtuais ao alcance das mãos, sem ter a desvantagem de usar um capacete.



4.24(a): Aparência do ícone 3D para um arquivo de uma aplicação de texto.



4.24(b): Anexando um ícone 3D em um objeto.

Figura 4.24: Ícone 3D na *ponta* da Wand durante o uso do *VR-Manip*.

#### 4.4

#### Interações de Transição e Continuidade

Para integrar os ambientes de interação foram criados mecanismos de interface simbolizando transições. Os critérios utilizados para criar estas transições foram inspirados na continuidade proposta por Trevisan em (Trevisan04) baseando-se nos aspectos perceptivo, cognitivo e funcional da interação.

Nesta seção são explicados os eventos que disparam a inicialização das transições (Figura 4.25) na *HybridDesk*, assim como os procedimentos (Figura 4.18) e recursos utilizados durante as mesmas. Apesar dos eventos de inicialização poderem ser considerados como comandos dos ambientes, decidiu-se explicá-los aqui dada sua relação com as transições.

A transição entre o ambiente de *VR-Nav* e o *VR-Manip* é acionada pela indicação de um objeto no *VE* mais o clique no botão “A” da *Wand*. O processo de transição inicia com uma aproximação deste objeto indicado (por meio de uma animação) até a tela frontal da MiniCave, e ao mesmo tempo, uma outra animação é acionada indicando a movimentação do *LCD* para frente da MiniCave (Figura 4.26). A animação do movimento do objeto escolhido para próximo da posição da tela frontal da MiniCave é utilizada com intuito de tentar prover uma indicação de que o objeto escolhido estaria vindo para perto do usuário atrás do *LCD*, ou seja, uma forma de indicar que o objeto na MiniCave estaria indo para trás do *LCD*. Quando o usuário posiciona o *LCD* na frente da MiniCave ele já visualiza o objeto escolhido na tela do *LCD*.

O recurso da animação da aproximação do objeto para a tela frontal objetiva tentar manter um vínculo cognitivo do objeto escolhido entre os dois ambientes no sentido de mostrar ao usuário que o objeto atrás do *LCD* é



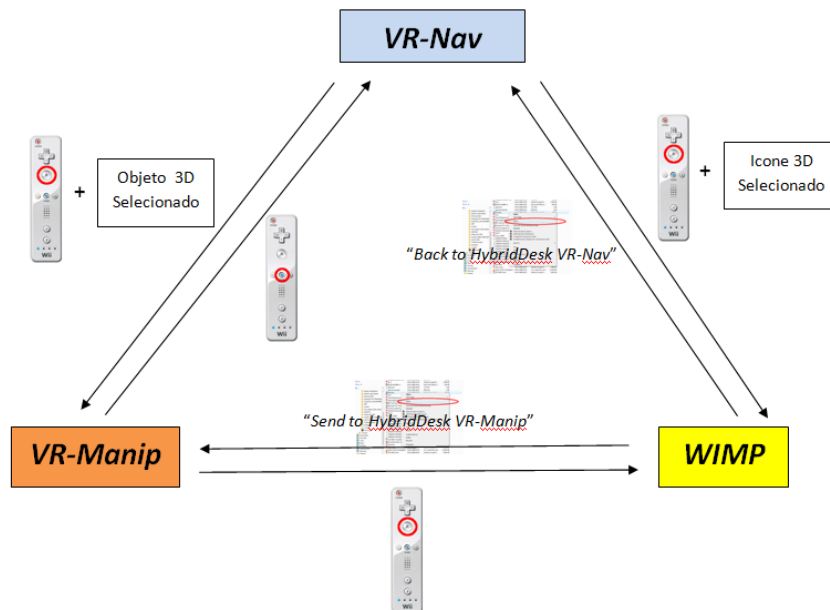


Figura 4.25: Eventos que disparam as transições entre os ambientes de interação.

realmente o que foi selecionado. Apesar de haver uma quebra perceptiva no sentido de que houve uma mudança de *display* para atuar no objeto (mudou da MiniCave para o *LCD*), há uma certa continuidade funcional, uma vez que o usuário não precisa mudar o dispositivo de interação 3D (*Wand*), e a continuidade cognitiva é mantida pelos recursos de animação que mostram que o objeto é o mesmo.

Para retornar do *VR-Manip* para o *VR-Nav* é necessário o clique no botão “Home” da *Wand*. Este evento dispara a execução de uma animação na MiniCave de volta ao ponto de vista no *VR-Nav* de onde foi realizada a seleção do objeto sendo manipulado no *VR-Manip*. Além disso, outra animação exibe um *LCD* ilustrativo (na tela frontal da MiniCave) indo para o lado esquerdo da MiniCave (Figura 4.27) com o objetivo de lembrar o usuário a não necessidade do uso deste *display* durante o *VR-Nav*.

A respeito do aspecto funcional da continuidade na transição entre o *VR-Nav* e o *VR-Manip*, o dispositivo de entrada (*Wand*) continua o mesmo, porém, os comandos associados a ela são diferentes. Entretanto, alguns comandos possuem semelhanças semânticas, por exemplo, o botão “B” no *VR-Nav* é utilizado para arrastos de movimento durante a navegação, e no *VR-Manip* é utilizado para movimentar o objeto selecionado através de arrastos também.

A transição do ambiente de navegação para o *WIMP* é acionada pela indicação de algum ícone 3D (por meio do uso do raio virtual) anexado em algum objeto do cenário virtual (Figura 4.28) mais o clique no botão “A”

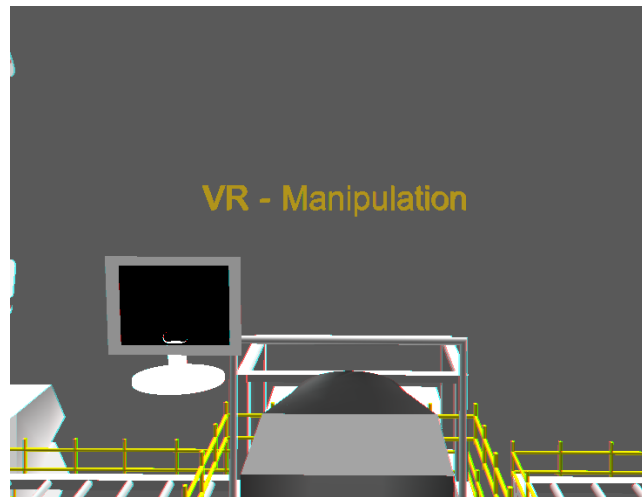


Figura 4.26: Animação para indicar a movimentação do *LCD* para dentro da *MiniCave*.



Figura 4.27: Animação para indicar a movimentação do *LCD* para fora da *MiniCave*.

da *Wand*. O ponto de entrada no *WIMP* da transição vinda do ambiente *VR-Nav* é o gerenciador de arquivos do Windows XP, dentro da pasta onde está o arquivo associado ao ícone 3D, e por fim com este arquivo escolhido. Para retornar para o *VR-Nav* a partir do *WIMP* é necessário utilizar o menu de contexto e clicar na opção “Back to HybridDesk VR-Nav” (Figura 4.25). Esta volta culmina em uma descontinuidade perceptiva, uma vez que é preciso empurrar o *LCD* para fora da *MiniCave*.

Este ponto de entrada no Windows com o arquivo selecionado serve para tentar criar um vínculo cognitivo com o ícone 3D selecionado no passo anterior no *VR-Nav*.

Para escolher um arquivo e anexar a um objeto 3D é obrigatório ir para o ambiente *VR-Manip* e a partir dele iniciar o *WIMP* através do clique do

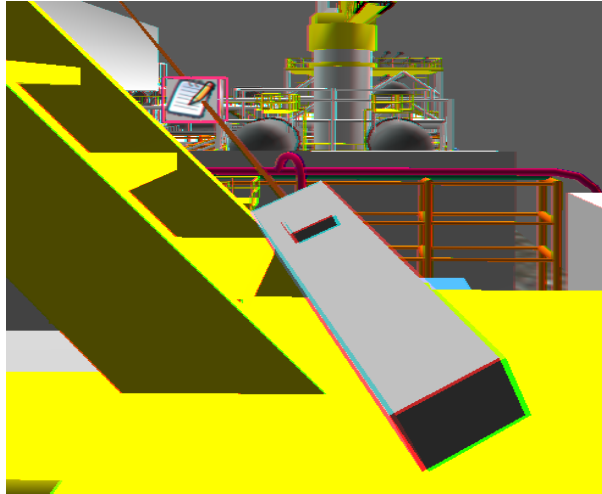


Figura 4.28: Indicação de um ícone 3D como um dos requisitos para ir ao ambiente *WIMP*.

botão “A” da *Wand*. Uma vez feito isso, no *LCD* é exibido o gerenciador de arquivos do Windows XP na pasta “C:”. Para enviar um arquivo para o *VR-Manip*, o usuário precisa acionar um menu de contexto em cima do arquivo escolhido e clicar na opção “Send to HybridDesk VR-Manip”. A volta para o ambiente *VR-Manip* com um ícone 3D aparecendo na ponta da *Wand* também tem a finalidade cognitiva de tentar criar um vínculo entre um arquivo do Windows XP e o ícone 3D no *VE*. Entretanto esta volta também acompanha uma descontinuidade funcional, dada a necessidade na troca do teclado e mouse pela *Wand*.

A visualização do *WIMP* no *LCD* mantém um continuidade perceptiva quando a transição para o *WIMP* inicia no ambiente *VR-Manip*, uma vez que este também usa o *LCD*. Porém, uma quebra de continuidade funcional ocorre, pois o usuário é levado a deixar de lado a *Wand* e usar o mouse ou o teclado. Entretanto vale ressaltar que esta quebra pode também não ser total, pois pode ocorrer a situação em que um manipulador está sendo usado na mão não dominante do usuário e o mouse na mão dominante.

Na Figura 4.29 há um resumo visual do que foi relatado nesta seção através de um esquema das propriedades da continuidade ao longo das transições na *HybridDesk*.

Apesar de que em todas as transições entre os sub-ambientes houve pelo menos uma quebra de continuidade em algum aspecto, houve uma preocupação em tentar compensar esta descontinuidade através do estímulo de outro aspecto, por exemplo, as animações como uma forma de estimular o aspecto cognitivo para compensar a quebra no aspecto perceptivo dada a obrigatoriedade na troca de *displays*.

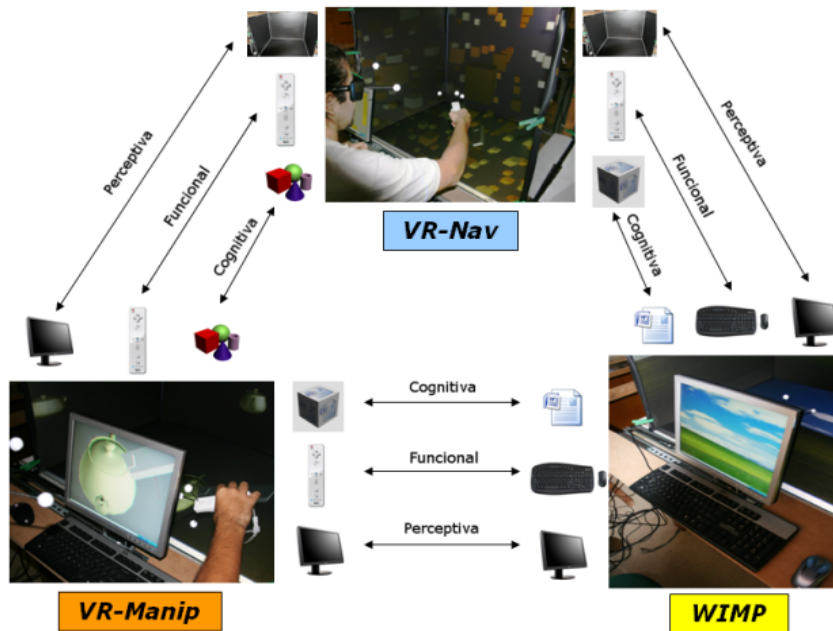


Figura 4.29: Esquema das propriedades da continuidade no HybridDesk.

Conforme mencionado na Seção 3.3 sobre o modelo de transições de Grasset (GrassetLB06, GrassetLB05), e as observações apontadas nas Seções 3.4 e 3.5 sobre possíveis adaptações neste modelo, na Figura 4.30 está ilustrado o HybridDesk no modelo de Grasset, porém acrescido de alguns ítems referentes aos parâmetros das funções de movimento e transição.

Este acréscimo no modelo de transições de Grasset fez-se necessário dado que no modelo original a idéia de deslocamento 3D dentro de uma interface ficou muito vinculada à função de movimento  $V$ . Entretanto, neste trabalho nem todas as interfaces são de natureza 3D, ou seja, há o uso da *WIMP*, que é 2D. Desta forma, decidiu-se agregar à função de movimento um conjunto de parâmetros que estariam ligados tanto a componentes de hardware quanto de software num dado momento dentro de uma interface. Por exemplo, na função  $V(t, \text{“Grabbing the air”, Wand, LCD})$  há um movimento ao longo do tempo  $t$  dentro de uma interface usando “Grabbing the air” como técnica de interação através do dispositivo de input *Wand* e o display *LCD*. Seguindo o mesmo raciocínio, este acréscimo também foi aplicado para a função de transição  $T$ , por exemplo, em  $T(t, \text{Animações, LCDin—LCDout})$  ocorre uma transição ao longo do tempo  $t$  que utiliza recursos de animações visuais e movimentações físicas do tipo *LCDin—LCDout*, ou seja, deslocamento do display *LCD* para dentro e para fora da *MiniCave*.

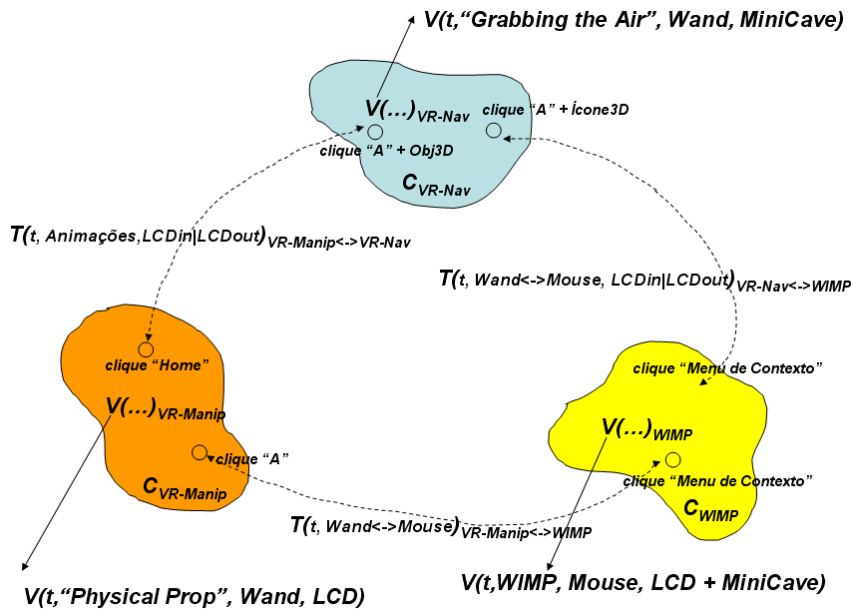


Figura 4.30: Esquema das transições do HybridDesk numa adaptação do modelo formal de (GrassetLB06, GrassetLB05).

#### 4.5 Implementação

Como mencionado na Seção 4.3 foi utilizada a biblioteca gráfica **OpenSceneGraph** para gerenciar o grafo de cena do *VE*. Porém, foi desenvolvido um conjunto de classes para gerar um conjunto de câmeras com cones de visão adequados (mais precisamente, cones de visão assimétricos conforme os descritos no trabalho (CruzNeiraSD93)) para gerar as imagens projetadas na *MiniCave* de acordo com a posição da cabeça do usuário, assim como no *LCD*.

Um conjunto de classes de suporte foram criadas para realizar cálculos e gerenciamento. Uma classe chamada **WallProjection** foi responsável por gerenciar uma câmera do mundo virtual a cada quadro. A atualização da câmera se fez por meio da geração do cone de visão com base nos quatro cantos da tela de visualização e a posição da cabeça do usuário que foram informados a cada quadro.

A classe **WorkPlace** foi responsável por gerenciar 5 objetos da classe **WallProjection**, ou seja, as 4 câmeras virtuais da *MiniCave* e o *LCD* do ambiente *VR-Manip*. Ela também criou e associou para cada uma dessas câmeras um objeto da classe **osgViewer::Viewer**. Esta classe **Viewer** é parte integrante da biblioteca **OpenSceneGraph** e é responsável por criar uma janela aonde será desenhada a visão de uma câmera virtual. Desta forma, a classe **WorkPlace** criou 5 janelas no desktop e as posicionou. O posicionamento dessas janelas foi feito de tal forma que cada janela ocupasse uma superfície de

projeção da MiniCave e a tela do *LCD*. Este posicionamento das janelas ocorreu ao longo de um desktop estendido.

Duas classes adicionais (**BraTrackProtocol** e **classUDPSocketBasics**) foram responsáveis por receber via rede e tratar as informações de rastreamento computadas em uma máquina remota aonde o tracker BraTrack ([www.bratrack.com](http://www.bratrack.com)) estava instalado. As informações vindas continham posições e orientações dos marcadores acoplados no óculos estéreo e na *Wand*.

Para realizar a detecção de objetos por meio de um raio virtual foi criada a classe **PickHandler**. Ela basicamente continha funcionalidades para receber dois pontos 3D e um nó para uma cena e então calcula quais os objetos contidos nesta cena estão atravessados pelo raio definido pelos dois pontos 3D passados por parâmetro.

Durante a seleção de objetos no *VE*, um *feedback* visual (na forma de uma caixa branca envolvente) nos objetos indicados foi criado utilizando uma classe chamada **SelectionBox**. Nela são definidos parâmetros como a cor da caixa, a espessura das suas linhas e o tamanho.

Além das classes implementadas, foi utilizada a biblioteca **WiiYourSelf!** ([wiiyourself.gl.tter.org/](http://wiiyourself.gl.tter.org/)) que continha a classe “wiimote” utilizada para identificar os eventos vindos dos wiimotes utilizados. Além de captar os eventos foi possível também enviar outros comandos através desta classe, por exemplo, o comando para o wiimote vibrar.

As animações de transição mostrando um *LCD* virtual indo para os lados foram geradas no programa de modelagem e animação 3dsMax 9.0 e exportadas para o formato IVE do *OpenSceneGraph*.

## 5

### Estudo Exploratório

A avaliação de sistemas interativos não convencionais constitui ainda uma área de pesquisa em aberto. Não existem métodos nem *guidelines* consolidadas que possam ser aplicados no intuito de verificar a avaliação de usabilidade desses sistemas. Como podemos verificar na seção de trabalhos relacionados (Capítulo 3), a avaliação de interfaces híbridas ainda está no seu início, sendo que muitos dos trabalhos investigam questões de usabilidade relacionadas à interação do usuário em cada ambiente negligenciando, de certa forma, a avaliação da interação do usuário durante as transições entre os ambientes. O primeiro trabalho que demonstra tal preocupação foi publicado em 2008 por Grasset et al. (GrassetDB08) e buscou avaliar usabilidade, desempenho, presença e *awareness* em interfaces de transição. O sistema avaliado considerou uma sequência de tarefas de navegação que forçam o usuário transitar entre dois ambientes de interação: realidade virtual e realidade aumentada. Entretanto, nesse trabalho a avaliação empregada acabou apenas por detectar falhas da técnica de navegação utilizada em cada ambiente de interação, assim como problemas de desorientação relativos aos pontos de entrada e saída de um ambiente para outro. Problemas esses, segundo os autores, que poderiam ser contornados fazendo uso de uma visualização estéreo (propiciando uma melhor sensação de profundidade 3D) e, além disso, o uso de alguma forma de *feedback* visual para sinalizar aonde o usuário encontrava-se antes e após cada transição.

Nesse sentido, esse capítulo tem por objetivo relatar um estudo exploratório a respeito da interação e comportamento de alguns usuários durante as transições entre os três ambientes de interação concebidos na *HybridDesk*: VR-Nav, VR-Manip e WIMP. Além disso, contribui também como um estudo exploratório que investiga a influência das decisões de design da *HybridDesk* e o comportamento durante as interações.

## 5.1

### Metodologia

A metodologia utilizada considera o estudo da interação de transição de acordo com as propriedades de continuidade perceptiva, cognitiva e funcional, além de fornecer dados a respeito da eficácia e satisfação destes usuários com o sistema de modo geral.

#### 5.1.1

##### Contextualização do estudo

Conforme mencionado previamente, o protótipo desenvolvido tem como um de seus objetivos atender os requisitos de tarefas de anotação 3D. A fim de validar essa tarefa no arranjo tecnológico implementado, foi modelada uma aplicação de teste constituída de uma plataforma de petróleo. Assim, a tarefa de anotação pôde ser interpretada, por exemplo, como parte de uma tarefa colaborativa de gerência de modelagem CAD para essa plataforma de petróleo.

#### 5.1.2

##### Arranjo Tecnológico

O sistema (ambiente + software) estudado fez uso da *HybridDesk* desenvolvida nesse trabalho e detalhada no capítulo anterior. A *HybridDesk* apresenta 3 ambientes de interação: VR-Nav, VR-Manip e WIMP nos quais o participante transita a fim de executar a tarefa de anotação 3D. Para tanto o participante faz uso de dispositivos de interação adaptados para interação nesses ambientes conforme foi igualmente especificado no capítulo anterior. A Figura 4.13 ilustra um participante no cenário de estudo na *HybridDesk* com os dispositivos de interação: óculos estéreo, *wand*, mouse, teclado e LCD.

#### 5.1.3

##### Participantes

Os participantes do estudo foram indivíduos entre 20 e 40 anos de idade do sexo masculino, todos com certa experiência em realidade virtual, totalizando 7 indivíduos. A escolha dos candidatos caracterizou uma amostragem por conveniência dado que o objetivo do estudo não foi uma avaliação profunda e sim um estudo preliminar simples em curto prazo. Desta forma, para diminuir possíveis dificuldades de entendimento e adaptação durante o uso de uma aplicação com gráficos 3D, preferiu-se selecionar indivíduos que já conheciam aplicações do tipo 3D. A restrição do perfil dos usuários foi uma decisão para manter também uma amostra homogênea de candidatos.



#### 5.1.4 Procedimento

O estudo iniciou com um termo de consentimento (ver Apêndice B) que o participante assinou concordando em ser voluntário nesse estudo e, em seguida, preencheu um questionário com relação ao seu perfil e sua experiência com ambientes interativos 3D.

Antes de realizar o estudo propriamente dito, cada participante realizou uma sessão de treinamento executando uma tarefa similar àquela do estudo de teste. Assim a tarefa de treinamento teve por objetivo fazer com que o usuário experimentasse todas as interações intra e inter os ambientes disponíveis totalizando no máximo 10 minutos de interação.

Após a fase de treinamento, o estudo de teste foi iniciado com tempo livre para a realização das tarefas. O participante pode fazer perguntas para um especialista durante o treinamento e também durante a execução do estudo em função do pouco tempo de aprendizagem considerado.

Após o término da execução do cenário de estudo o usuário iniciou então uma avaliação subjetiva de satisfação respondendo o Questionário SUS (*System Usability Scale*) (Brooke96) (Apêndice C) e o questionário de usabilidade das transições constituído de 14 perguntas pontuadas em uma escala Likert de 5 níveis conforme apresentado no Apêndice D. Esse questionário foi elaborado a fim de relacionar as funcionalidades do sistema com as propriedades da continuidade de interação durante as transições.

#### 5.1.5 Treinamento

Durante a fase de treinamento os participantes foram instruídos por um especialista posicionado próximo ao lugar do participante, de tal forma que ele conseguisse visualizar os movimentos do participante, assim como as telas da *HybridDesk*. As instruções eram transmitidas oralmente e consistiam basicamente em ajudas sobre as funcionalidades dos dispositivos de entrada e a relação destes com as técnicas de interação, assim como eventuais dúvidas sobre desorientações dentro do ambiente virtual. A tarefa de treinamento consistiu em anexar uma anotação a um objeto 3D específico da plataforma de petróleo, sendo esta tarefa decomposta nas seguintes interações:

1. A interação inicia no ambiente de navegação no qual o usuário deverá navegar até encontrar um objeto específico da plataforma de petróleo.
2. Uma vez encontrado o objeto, este deverá ser então selecionado.

3. Com o objeto selecionado, o usuário realiza então a transição para o ambiente de manipulação.
4. No ambiente de manipulação, o usuário então inspeciona o objeto através de rotações e translações.
5. Feita a inspeção, o usuário deverá então anexar uma mensagem nesse objeto realizando assim a transição para o ambiente WIMP.
6. No ambiente WIMP, o usuário deverá criar um arquivo no Bloco de Notas (NotePad) e escrever uma mensagem.
7. Uma vez criado o arquivo, o usuário deverá então voltar ao ambiente de manipulação.
8. No ambiente de manipulação, o ícone 3D do arquivo é então anexado pelo usuário em cima do objeto 3D em questão.
9. Com o arquivo já anexado, o usuário volta então para o ambiente de navegação, terminando assim o treinamento.

### 5.1.6

#### Execução do Estudo

A tarefa realizada pelo participante no cenário considerado iniciou com a seguinte instrução transmitida oralmente por um especialista:

“Acesse na plataforma de petróleo as instruções que estão anexadas na escada localizada a direita do Heliporto (Tarefa 1)”.

Com o presente cenário de interação configurado, o participante teve que executar a seguinte sequência de ações (apresentadas oralmente pelo especialista) a fim de atingir o objetivo proposto:

1. A interação inicia no ambiente de navegação VR-Nav no qual o usuário deverá navegar até encontrar a escada à direita do heliporto e nela localizar o ícone 3D que contém a mensagem (Figura 5.7(a)).
2. Com o ícone 3D selecionado, inicia então a transição para o modo WIMP (Figura 5.7(b)).
3. No modo WIMP o usuário abre o arquivo e acessa a mensagem (Figura 5.7(c)):

”Verifique possíveis rachaduras existentes nas pontas dos guindastes (Tarefa 2) e deixe um recado para o responsável realizar a manutenção caso seja necessário (Tarefa 3).”

4. Após ler a mensagem, através do menu de contexto, usuário retorna para o ambiente de navegação VR-Nav (Figura 5.7(d)).
5. No ambiente VR-Nav, o usuário deverá localizar um dos guindastes e selecionar o objeto da sua ponta (Figura 5.7(e)).
6. Com o objeto selecionado, o usuário inicia a transição para o ambiente de manipulação VR-Manip (Figura 5.7(f)).
7. No ambiente de manipulação, o usuário inspeciona o objeto procurando pela possível rachadura (Figura 5.7(g)). Se a rachadura é encontrada nesse componente então executa-se os passos 8-13. Caso a rachadura não esteja presente nesse componente então executa-se os passos 12-13.
8. Com o componente selecionado, inicia-se a transição para o modo WIMP (Figura 5.7(h)).
9. Uma vez no ambiente WIMP, o usuário deverá criar um arquivo no Bloco de Notas e escrever a mensagem ao responsável pela manutenção desse componente (Figura 5.8(a)).
10. Através do menu de contexto, usuário retorna para o modo de manipulação (Figura 5.8(b)).
11. No ambiente de manipulação, o ícone 3D do arquivo é então anexado pelo usuário em cima do componente em questão (Figura 5.8(c)).
12. Inicia-se então a transição para o modo de navegação (Figura 5.8(d)).
13. Repete-se os passos 5-7 até que todos os guindastes tenham sido inspecionados.

A sequência de passos mínima necessária para execução do estudo também está ilustrada no modelo de transição de Grasset na Figura 5.1. As reticências nos parâmetros das funções de movimento “V” e de transições “T” podem ser entendidas como os possíveis parâmetros estendidos explicados na Seção 4.4.

Considerando que existiam apenas dois guindastes na plataforma e que somente um deles apresentava rachaduras, então a quantidade mínima de

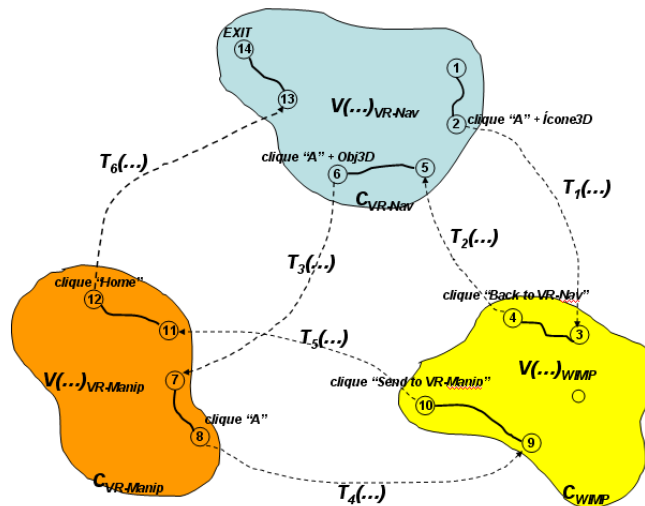


Figura 5.1: Execução do estudo ilustrado no modelo de Grasset. (GrassetLB06, GrassetLB05).

transições necessárias para realizar a tarefa encontra-se resumida na Tabela 5.1 a seguir.

Na tabela 5.1 os termos “LCDin” e “LCDout” significam o posicionamento do LCD na frente e fora da MiniCave respectivamente.

### 5.1.7 Captura de Log

Dados objetivos de medição foram capturados durante a execução de cada estudo. Esses dados constituem: tempo de interação em cada ambiente, tempo de transição entre os ambientes, tempo total de interação e quantidade de transições.

Parte desses dados foi capturada automaticamente pelo sistema e outra parte manualmente. Para as transições que envolviam a mobilidade física (movimentação do LCD) e troca de dispositivos (*Wand*/mouse), foi feito um método manual de captura utilizando um outro controle *Wiimote* no qual o avaliador sinalizava através do clique do botão “A” o término desse tipo de interação de transição. A captura automática realizada pelo sistema foi implementada através da análise dos eventos que disparavam as transições (Figura 4.25).

## 5.2 Resultados e discussão

Na Figura 5.2 estão os resultados médios coletados no questionário de usabilidade preenchido pelos participantes após o término da execução do

Tarefa	Transições	Funcionalidade	Ações de transição
1. Acessar mensagem	T1-Nav ->Wimp	LCDin	Clique botão “A” <i>Wand</i> no ícone 3D selecionado
	T2-Wimp ->Nav	LCDout	Menu de contexto “Back to HybridDesk VR-Nav”
2. Verificar rachaduras	T3-Nav ->Manip	LCDin	Clique botão “A” da <i>Wand</i> com objeto 3D selecionado
	T6-Manip ->Nav	LCDout	Clique botão “Home” da <i>Wand</i>
3. Deixar mensagem	T4-Manip ->Wimp	Troca de dispositivo ( <i>Wand</i> ->mouse-teclado)	Clique botão “A” <i>Wand</i>
	T5-Wimp ->Manip	Troca de dispositivo (mouse-teclado -> <i>Wand</i> )	Menu de contexto “Send to HybridDesk VR-Manip”
	T6-Manip ->Nav	LCDout	Clique botão ”Home” da <i>Wand</i>

Tabela 5.1: Transições, funcionalidades e eventos envolvidos nas interações de transição inter ambientes durante a realização das tarefas.

sistema. Os 4 primeiros itens estão mais relacionados com a usabilidade geral do sistema. Os itens 1 e 2 apontam resultados razoáveis indicando que nestas primeiras execuções da *HybridDesk* houve uma eficácia no uso do sistema, uma vez que todos conseguiram completar a tarefa sem tantas dificuldades de execução.

O item, 3 apesar de constar nesta seção de usabilidade geral, pode ser considerado como um item no qual objetivou-se capturar o quão foi prejudicada a continuidade perceptiva ao longo de um ambiente específico, o WIMP (Windows XP). Esta preocupação surgiu por já se saber, durante a fase de design, do problema de compatibilidade entre a forma de estereoscopia escolhida, e conseqüentemente os óculos estéreo também, e a forma de exibição das imagens do ambiente de interação WIMP. Pode-se considerar que os óculos estéreo mais um *display* compõem o estimulador do canal perceptivo visual, ou seja, o uso conjunto dos dois resulta no estímulo visual correto para gerar a imagem 3D. Os óculos anaglifo mais a MiniCave no VR-Nav e os mesmos óculos mais o LCD no VR-Manip compunham um par de geradores de imagens 3D. Porém, os óculos não tinham esse vínculo com o ambiente WIMP. Este vínculo não foi bem estreito dada a característica da filtragem de cor inerente no estéreo anaglifo. A geração de imagens no VR-Nav e no VR-Manip é preparada para este tipo de filtragem e por isso imagens adequadas são geradas para as lentes

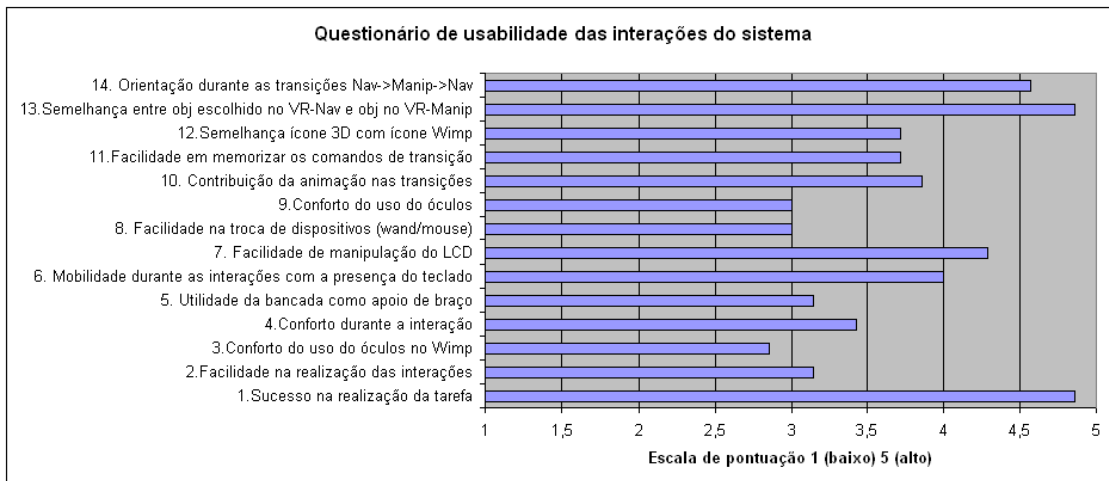


Figura 5.2: Resultados do Questionário de Usabilidade.

destes óculos. Porém, a interface do Windows XP não é gerada para usar óculos estéreo e muito menos para estéreo baseado em filtragem de cor, desta forma, a imagem visualizada com óculos anaglifo fica diferente da visualização sem óculos. Este fato pode ter sido a justificativa para o baixo nível de conforto do uso do óculos durante a interação no Windows XP. Talvez se outro tipo de estéreo fosse utilizado, como o do tipo circular que não é baseado na filtragem de cores, a visualização da imagem do WIMP não seria prejudicada. Apesar deste incômodo na visualização, nenhum usuário retirou o óculos para interagir no Windows e por este motivo concluímos que o resultado apontado ficou quase neutro aproximando o valor 3.

Fechando esta parte de usabilidade geral está o item 4 que tentou capturar se o usuário de uma forma geral sentiu-se confortável durante a interação, se houve algum incômodo pertinente. A maioria apontou como principal desconforto as falhas na captação do movimento da cabeça (*head-tracking*) e da *Wand*. Dentre os dois, o mais evidente foi o *head-tracking* porque às vezes os usuários saíam da área de cobertura das câmeras, e era preciso inclinar mais a cabeça para dentro do ambiente para o sistema voltar a capturar o movimento. Porém, a aproximação do valor neutro 3 indicou uma tolerância boa a este problema de conforto.

Nos itens 5 a 9 estão questionamentos elaborados para investigar as decisões de design tomadas da *HybridDesk* levando em consideração a propriedade funcional da continuidade, porém há um pouco da propriedade perceptiva “diluída” em alguns destes itens como será explicado mais à frente.

O item 5 está relacionado com a questão funcional em propiciar uma superfície de apoio para redução de cansaço durante as interações. Porém, o resultado médio apontou uma neutralidade, além disso, os comentários dos

participantes eram que a bancada nem foi percebida para tal finalidade. Este fato pode ser explicado pelo pouco tempo de interação nas execuções do sistema, o que não levou a causar cansaço. Foi observado que boa parte dos participantes não utilizou a bancada durante as interações de navegação e manipulação, as interações com a *Wand* eram realizadas com o braço suspenso. Talvez após um tempo elevado de uso a bancada poderia ter sido percebida como apoio.

No item 6 buscou-se verificar se houve alguma facilidade de mobilidade durante as interações em geral com a presença do teclado, mais precisamente, se a presença do teclado interferiu na execução das interações no VR-Nav e no VR-Manip. O resultado médio indicou que houve uma tolerância boa. Porém, a maioria dos participantes comentou que não saberia dizer se a longo prazo este posicionamento do teclado poderia ou não dificultar. De um modo geral ficou a impressão que a presença do teclado não foi percebida como um “obstáculo” à interação pelo curto tempo durante a execução do sistema.

A facilidade na movimentação do LCD durante as transições do VR-Nav  $\rightarrow$  VR-Manip, VR-Manip  $\rightarrow$  VR-Nav, VR-Nav  $\rightarrow$  WIMP e WIMP  $\rightarrow$  VR-Nav foi alta conforme indicado no resultado do item 7. Isto pode ter justificativa no uso do sistema de trilhos que facilitou um pouco a mobilidade para os lados ao invés de literalmente carregar ou arrastar um monitor.

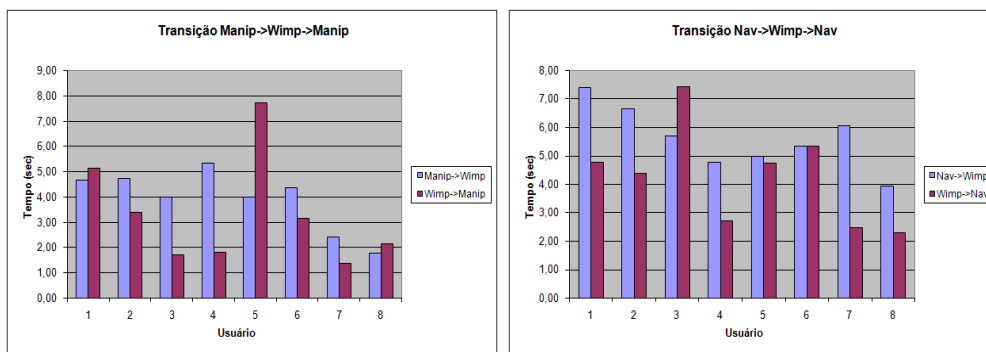
5.3(a): VR-Manip  $\rightarrow$  WIMP  $\rightarrow$  VR-Manip.5.3(b): VR-Nav  $\rightarrow$  WIMP  $\rightarrow$  VR-Nav.

Figura 5.3: Tempo nas transições entre VR-Nav e VR-Manip para o WIMP e vice-versa.

Um resultado neutro foi indicado no item 8, na questão da troca dos dispositivos de entrada *Wand* e mouse durante as transições dos ambientes VR-Nav e VR-Manip para o ambiente WIMP e vice-versa. Alguns participantes apontaram um certo incômodo com esta troca e houve um comentário sobre uma preferência por um dispositivo de entrada único durante todas as interações. Durante a fase de design, esta foi uma descontinuidade funcional

prevista. Porém, acredita-se que isto pode ser tolerável dado que o tempo médio entre essas trocas foi relativamente pequeno, ficando em torno de 4 segundos (Figura 5.3). Apesar da Figura 5.3(b) apresentar o tempo da transição VR-Nav  $\rightarrow$  WIMP que, além de contar com a troca de dispositivos de entrada também conta com a movimentação do LCD, pode-se notar também um tempo relativamente pequeno.

O resultado no item 9 apresentou uma posição neutra indicando uma tolerância dos óculos de forma geral. Alguns participantes reclamaram da falta de uma borracha no encaixe com o nariz. Mesmo sendo leves, as bolinhas fixadas no óculos para o *tracker* realizar o rastreamento, davam um certo peso inclinando os óculos para frente. Talvez estes motivos tenham sido a razão para o valor médio de aceitação obtido. Este valor também deve ser analisado em conjunto com o item 3 porque mostra que os óculos tiveram uma aceitação razoável nos outros ambientes (VR-Nav e o VR-Manip), indicando uma aceitação do estéreo anaglifo nestes ambientes, e mostrando uma certa continuidade perceptiva, excluindo a questão de incompatibilidade no WIMP.

O aspecto cognitivo da continuidade foi analisado nos itens 10 a 14 através de questões de memorização e interpretação. Assim como na elaboração dos itens 5 a 9, estes próximos itens também contêm questionamentos “diluídos” sobre a propriedade perceptiva.

No item 10 procurou-se verificar a validade das animações utilizadas nas transições entre o VR-Manip e VR-Nav, e VR-Nav e WIMP para indicar a mudança de *display* com o objetivo de lembrar o usuário sobre a movimentação do LCD para dentro e fora da MiniCave. Acredita-se que o resultado acima da média indicou a validade dessas animações, até como um meio de diminuir a descontinuidade perceptiva decorrente da mudança de *displays*. Porém, após observar os participantes, acredita-se que seria melhor desligar totalmente a visualização da MiniCave na transição VR-Nav  $\rightarrow$  VR-Manip, pois o estímulo visual da MiniCave é muito grande em relação ao do LCD, e notou-se que mesmo utilizando a animação, após seu término o usuário continuava olhando para a *MiniCave* e só depois movimentava o LCD.

A utilização de poucos comandos e a associação de funcionalidades similares para os mesmos botões dos dispositivos foi bem aceita dado o resultado do item 11.

Conforme o resultado no item 12, a maioria dos participantes aceitou a decisão por usar um cubo 3D como uma representação estendida no *VE* para um ícone de arquivo do *Windows Explorer*, porém, alguns participantes fizeram observações. A primeira observação estava relacionada na visualização do ícone, pois quando um objeto estava longe o ícone anexado a ele ficava



muito pequeno e não era percebido, e quando o mesmo objeto estava perto, o ícone dele ficava até grande demais. Ou seja, não havia um tamanho constante do ícone independente da distância do observador. No *windows explorer* os ícones estão sempre do mesmo tamanho durante a navegação pelas pastas do sistema, a menos que o usuário explicitamente mude a configuração de opções da pasta. A segunda observação estava no uso da textura do ícone. Na aplicação 3D do sistema foi utilizada uma textura estilizada de um bloco de notas para indicar um ícone da aplicação Bloco de Notas, porém a imagem da textura não era igual à do ícone da aplicação, e isto foi apontado como um problema que poderia ser corrigido colocando o mesmo ícone do bloco de notas do *Windows XP*.

Outra questão de continuidade cognitiva foi verificada no item 13, investigando se o usuário conseguiu interpretar que o objeto manipulado no VR-Manip era o mesmo que foi escolhido no VR-Nav, ou seja, se ele teve alguma dificuldade em perceber que o objeto visualizado e escolhido na MiniCave era o mesmo que foi manipulado no LCD. O resultado apontou uma grande aceitação. Talvez a animação que aproxima este objeto escolhido para a posição da projeção frontal tenha contribuído para este resultado também. Desta forma, pode-se dizer que não houve uma descontinuidade cognitiva e o usuário interpretou um mesmo objeto nos dois ambientes.

Por fim, o item 14 procurou indicar se os pontos de entrada e saída nas transições VR-Nav  $\rightarrow$ VR-Manip e VR-Manip  $\rightarrow$ VR-Nav ajudaram os participantes a orientar-se durante a ida e volta entre esses ambientes. Basicamente verificou-se se foi adequado voltar para o VR-Nav, a partir do VR-Manip, indo para o mesmo ponto de vista em que foi escolhido um objeto para ir para o VR-Manip. O resultado médio apontou que a maioria dos participantes aprovou a ideia.

### 5.2.1 Continuidade nas Transições

Considerando que a descontinuidade na propriedade perceptiva dado o uso de dois *displays* (LCD e MiniCave) foi decidida e aceita desde a fase de *design* da *HybridDesk*, com base nos resultados do questionário de usabilidade tentou-se verificar como ficou afetada a continuidade funcional e cognitiva. Como foi mencionado anteriormente, os itens 5 a 9 do questionário tentaram capturar possíveis dicas sobre a propriedade funcional, assim como os itens 10 a 14 tentaram fazer o mesmo para a propriedade cognitiva. Uma média dos valores dos itens (sem atribuição de pesos para cada) referentes a cada propriedade foi feita e o gráfico resultante está na Figura 5.4. Apesar de que

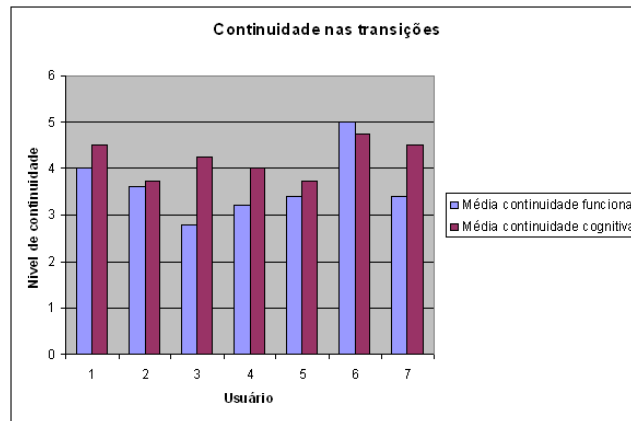


Figura 5.4: Continuidade nas Transições.

nos questionamentos de usabilidade estão diluídos de alguma forma alguns questionamentos direcionados à propriedade perceptiva, optou-se por indicar no gráfico somente como uma média referente às propriedades funcional e cognitiva. Analisando os valores nota-se que a continuidade funcional ficou menor, ou seja, houve uma descontinuidade funcional mais evidente. Isto ficou claro principalmente na questão da troca da *Wand* pelo mouse e vice-versa entre os ambientes WIMP e VR-Nav/VR-Manip. A questão cognitiva ficou acima da média, indicando uma certa validade nas decisões tomadas para propiciar um entendimento da tarefa da anotação como um todo ao longo das transições.

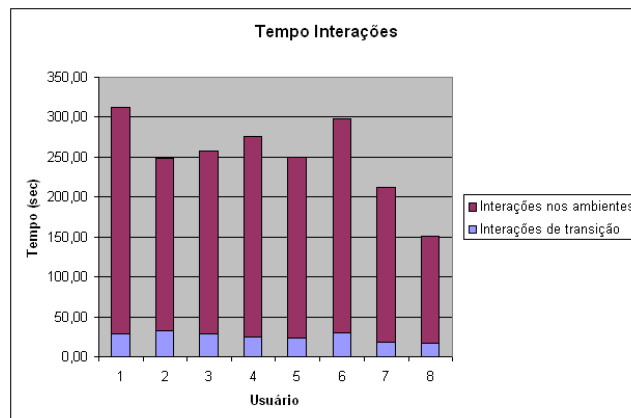


Figura 5.5: Tempo total gastos nos ambientes e nas transições.

Apesar das descontinuidades apontadas, neste estudo exploratório pode-se constatar que as transições não ocuparam muito tempo comparando-se com os tempos gastos nos ambientes de interação (Figura 5.5). Nesta figura também consta o tempo gasto por um especialista (usuário 8). Nota-se que o tempo gasto nas transições durante todas as execuções foi relativamente pequeno. Porém, deve-se levar em consideração que estes valores provavelmente foram

influenciados pela forma como as execuções do sistema foram conduzidas, ou seja, guiadas oralmente por um especialista.

### 5.2.2 Satisfação

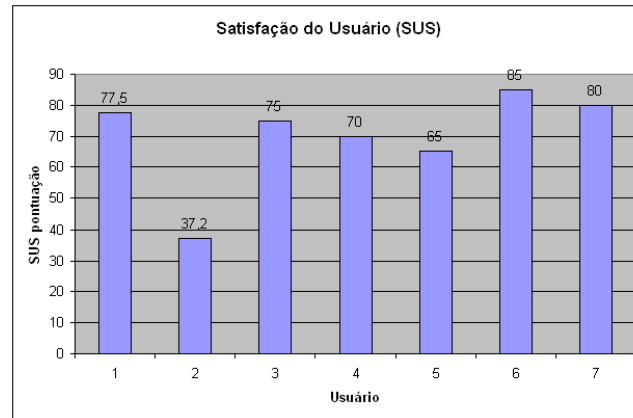
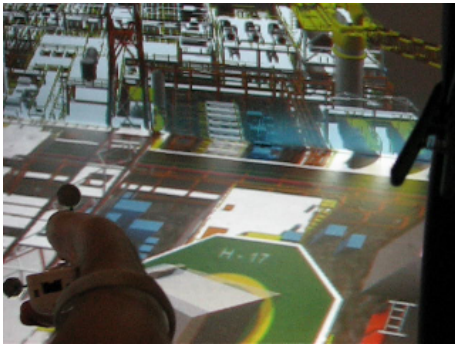
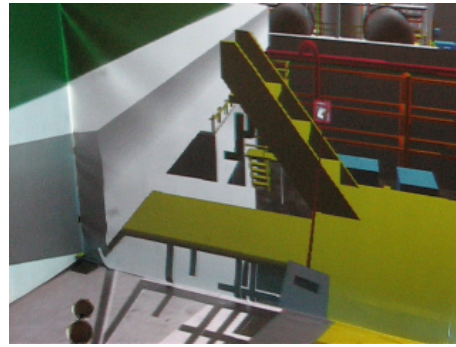


Figura 5.6: Grau de Satisfação.

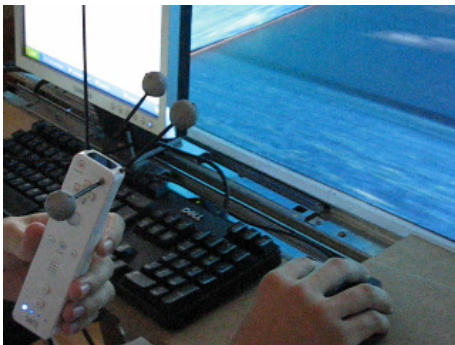
O teste de satisfação do usuário (SUS) utilizado teve por objetivo fornecer um índice de satisfação do usuário com o sistema através de uma combinação da pontuação atribuída aos seus 10 itens. O método de cálculo desse índice pode ser encontrado em (Brooke96). Conforme ilustra a Figura 5.6, o resultado da execução desse estudo atingiu uma média geral de 69.95%. Podemos dizer que este resultado é considerado satisfatório de acordo com pesquisas realizadas (TomA08) que observaram valores obtidos com SUS em 50 estudos em mais de 129 condições variadas e chegaram a conclusão que valores abaixo de 66 são considerados ruins enquanto valores acima de 80 são muito bons.



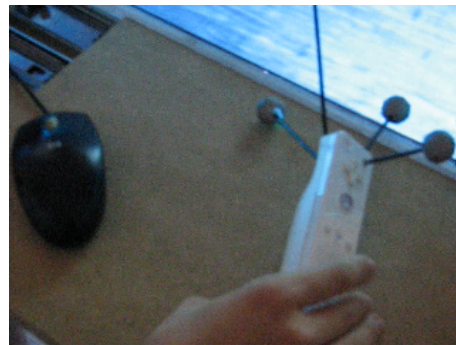
5.7(a): Navegação no modo VR-Nav.



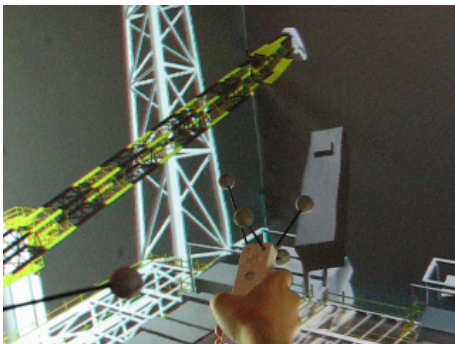
5.7(b): Seleção do ícone do arquivo 3D



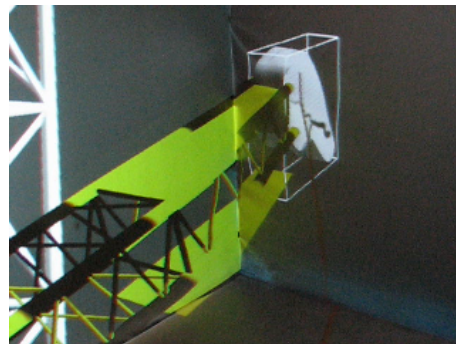
5.7(c): Acesso ao conteúdo do arquivo no modo WIMP.



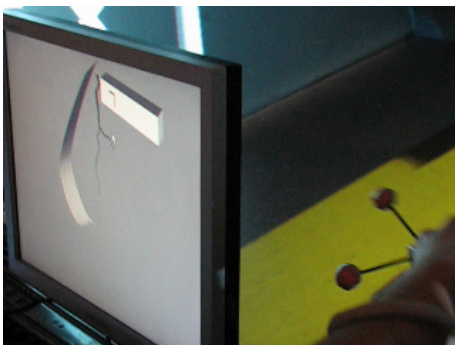
5.7(d): Troca de dispositivo de interação.



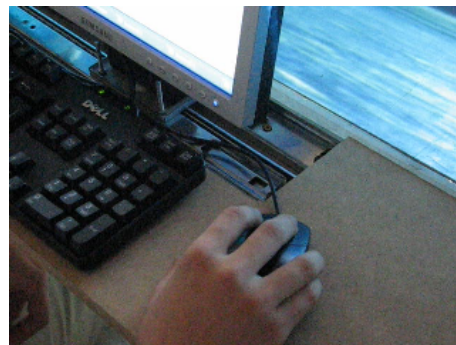
5.7(e): Navegação.



5.7(f): Seleção do objeto alvo.

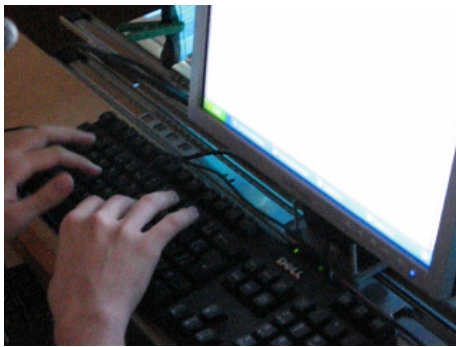


5.7(g): Manipulação do objeto selecionado.

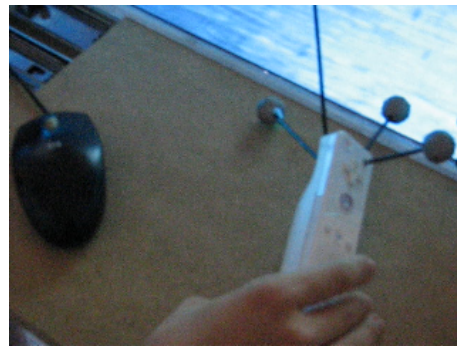


5.7(h): Troca de dispositivo de interação.

Figura 5.7: Sequência de passos para a execução das tarefas 1 e 2.



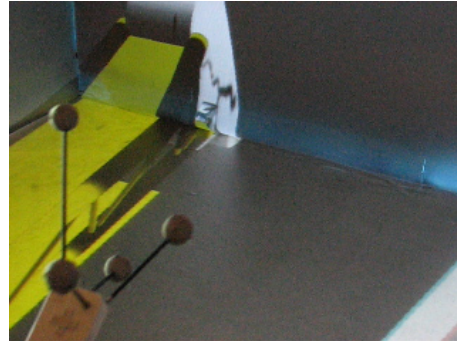
5.8(a): Escrita da mensagem no WIMP.



5.8(b): Troca de dispositivo de interação.



5.8(c): Anexar arquivo 3D no modo VR-Manip.



5.8(d): Verificar arquivo anexado no modo VR-Nav.

Figura 5.8: Sequência de passos para a execução da tarefa 3.

## 6

### Conclusão

A evolução da interação humano-computador levou ao surgimento de diferentes formas de interfaces e mecanismos de interação que cada vez mais estão convergindo em pontos de interesse comum. O suporte na realização de tarefas que demandam a utilização de interfaces diferentes está cada vez mais evidente no surgimento de campos de estudo como as interfaces híbridas, as quais tentam integrar harmoniosamente diferentes elementos de interfaces distintas.

A aproximação entre as interfaces do tipo 2D e 3D está indicando uma nova corrida de pesquisa e desenvolvimento, porém esta integração ainda é um problema em aberto. Por exemplo, enquanto as interfaces 2D do tipo WIMPs ficaram bem consolidadas com um arranjo tecnológico padrão com o mouse, teclado e monitor, as interfaces 3D ainda nem definiram um arranjo exatamente, deixando uma diversidade de dispositivos de entrada e saída a disposição. Esta falta de referência para integração, torna difícil iniciar alguma tentativa, assim como também faltam critérios para conduzir estas tentativas.

O estudo da usabilidade nas interfaces 3D ainda está em aprofundamento, porém já existem trabalhos com resultados qualitativos e quantitativos que apontam características importantes na identificação de tecnologias para realização de tarefas específicas. A identificação destas características está ajudando a definir referências mais concretas sobre quais *displays* e dispositivos de entrada são mais adequados para determinados tipos de tarefa 3D (congruência dimensional). Desta forma, pode-se dizer que estão começando a surgir pontos de partida para tentativas de integrar, por exemplo, interfaces WIMPs e interfaces 3D. Tal fato faz com que o estudo e avaliação da interação do usuário na transição entre interfaces seja quase inexistente, sendo ainda uma área de pesquisa a ser explorada.

O *HybridDesk* é uma tentativa de integração de interfaces, através de um arranjo tecnológico híbrido e mecanismos de transição entre interfaces, em um contexto bem específico levando em consideração as demandas da tarefa de anotação 3D. Para atingir tal objetivo foi desenvolvido um ambiente semi-imersivo composto de 3 ambientes interativos através de uma composição

de dispositivos de interação contemplando as tarefas de edição textual (2D), navegação e manipulação (3D). O espaço funcional da tarefa de edição de textos segue os requisitos de uma interação WIMP 2D baseada em mouse e teclado. O espaço funcional para a tarefa de navegação foi concebido em uma CAVE adaptada para uma mesa utilizando uma técnica de interação baseada em apontamento 3D. Já a tarefa de manipulação 3D é realizada através de uma técnica de interação chamada *physical props* em um ambiente interativo concebido através de uma adaptação dos setups de visualização *fish tank VR* e *reaching display*.

O *HybridDesk* também é considerado uma abordagem para transição entre interfaces, uma vez que permite a transição entre os três ambientes interativos necessários para a execução da tarefa de anotação 3D. As transições entre estes ambientes foram criadas baseando-se nas propriedades da continuidade, buscando manter o usuário sempre consciente da sua localização no contexto da tarefa dentro do *workplace* como um todo.

Uma vez que a composição das tecnologias e os mecanismos de transição entre interfaces foram consolidados, um estudo exploratório com usuários foi realizado como um primeiro passo na direção de futuras investigações sobre as interações durante as transições entre interfaces, identificando a influência das propriedades de design discutidas nesse trabalho.

Os resultados desse estudo preliminar apontaram a eficácia do *HybridDesk*, uma vez que todos os participantes dos experimentos conseguiram concluir a tarefa de anotação 3D proposta. Quanto às primeiras impressões sobre as transições, testes subjetivos indicaram que apesar da existência explícita da descontinuidade perceptiva pelo fato de haver mais de um *display* no *workplace*, isto foi bem tolerável segundo as observações e respostas nos questionários de avaliação, não sendo um fator impactante no tempo despendido durante as transições. Em relação às outras propriedades da continuidade, foi observada uma descontinuidade funcional maior do que cognitiva. O motivo predominante para este fato foi a troca de dispositivos *Wand* e mouse durante algumas das transições do *workplace*.

Apesar da presença destas descontinuidades (principalmente a perceptiva) durante as interações de transição acredita-se que houve um benefício da continuidade no âmbito global da realização da tarefa, uma vez que os tempos gastos durante as transições ocupam uma porcentagem relativamente pequena do tempo total de realização da tarefa. Além disso, o resultado do teste de satisfação indicou que a média de satisfação dos usuários encontra-se entre 60% e 80% com um grau de confiança de 90%.

Por fim, podemos concluir que até então não existe uma teoria que poderá

guiar de forma sistemática projetistas de futuras interfaces de transição, porém, com esse estudo foi possível mostrar como as propriedades de continuidade da interação juntamente com a propriedade de congruência dimensional das tarefas podem vir a guiar a concepção, implementação e avaliação de futuras interfaces de transição visando a usabilidade das interações de transições entre interfaces.

## 6.1 Trabalhos Futuros

O *HybridDesk* ainda é um protótipo sujeito a várias modificações, por este motivo uma série de sugestões para trabalhos futuros são relatados a seguir.

Adaptação de novas *3DIts* para *HybridDesk* ou vice-versa e realizar avaliações. Acredita-se que técnicas de navegação que utilizam manipulações locais sejam um ponto de partida, por exemplo, a técnica WIM (*World in Miniature*). Esta técnica poderia tirar proveito de uma variação *HybridDesk* onde o VR-Manip e o VR-Nav operariam juntos ao mesmo tempo, desta forma, o usuário poderia manipular o mapa do ambiente atrás do LCD utilizando uma ou duas *Wands*, ou até luvas, e visualizaria o feedback da movimentação no VE nas telas da *MiniCave*.

Modificação do arranjo de tal forma que assemelhe-se a mesas de arquiteto e engenheiro, ou seja, com um pouco de inclinação. Esta característica poderia propiciar a utilização da tecnologia multi-toque e tracking 3D ótico resultando na exploração de técnicas de interação híbridas envolvendo gestos no plano e movimentos de ferramentas no espaço.

Trocar o uso do LCD por uma superfície transparente para que as interações ficassem similares aos *reachin displays* que permitem a visualização das mãos. Para isto seria necessário incluir mais um projetor no sistema, e a sua posição poderia ser suspensa apontando-o para baixo. Mas isto leva a uma série de questões que precisam ser analisadas mais profundamente, por exemplo, interferência na área de cobertura do *tracking*, interferência na projeção da imagem da superfície de projeção inferior, entre outras.

A substituição do estéreo do tipo anaglifo por circular passivo poderia ser vantajoso na questão da utilização das interfaces WIMP.

Substituir a tecnologia de *tracking* ótico por magnético para permitir a utilização de interfaces multi-toque através da tecnologia FTIR (*Frustrated Total Internal Reflection*) (Han05) na superfície horizontal na *MiniCave*.

Posicionar as câmeras do sistema de rastreamento para um ponto mais alto. Com isto a área de cobertura do *tracker* ficará maior e provavelmente



os problemas relatados com a área de cobertura pequeno para o *head-tracking* poderão diminuir.

Permitir o rastreamento dinâmico do monitor LCD, ou seja, colocar pontos de rastreamento fixados nele. Desta forma, haveria uma atualização dinâmica do ponto de vista da câmera durante o movimento físico do display.

Substituir o sistema de trilhos por uma forma de braço articulado aonde o LCD ficaria fixado na ponta, e acrescentar um ponto de rastreamento neste braço. Esta abordagem seria uma forma de integrar a tecnologia do *BOOM-Chameleon* (ver Seção 2.3.4) e a *MiniCave* juntas.

Fazer um mecanismo que capture automaticamente os *bitmaps* dos ícones dos arquivos escolhidos no Windows Explorer e use-os como textura nos ícones 3D dentro do *VE*. Isto poderá contribuir mais para a continuidade cognitiva entre os ambientes, uma vez que os dois elementos (ícone 2D no WIMP e o ícone 3D no *VE*) sejam interpretados como a mesma coisa.

Aplicar uma metodologia de avaliação de usabilidade que vise isolar mais os fatores que influenciam as propriedades da continuidade ao longo das transições, assim como em cada ambiente interativo. Ou seja, identificar respostas mais direcionadas para cada propriedade evitando que hajam informações sobre mais de uma propriedade da continuidade.

Criar adaptação para outros contextos de uso, ou seja, aplicações diferentes da anotação 3D. Por exemplo, modelagem e pintura. Provavelmente a incorporação de outros dispositivos como os do tipo *haptic* que proporcionam *force-feedbacks* pode ser um passo inicial.

Criar técnicas de interação que visem apoiar mais especificamente a tarefa da anotação 3D. Por exemplo, uma forma de navegação que fosse influenciada pela proximidade espacial a uma anotação, ou seja, a criação de um mecanismo que simulasse uma forma de atração do deslocamento para as anotações dada uma certa proximidade.

Criar novos cenários de uso para proporcionar mais diversidade em avaliações futuras na questão de estudos comparativos entre a tecnologia versus as tarefas apoiadas por ela. Realizar estudos ergonômicos sobre a relação os elementos físicos do workplace e o posicionamento e movimentação do usuário.

## Referências Bibliográficas

- [AchtenJV04] ACHTEN, H.; JESSURUN, A. ; DE VRIES, B.. **The desk-cave - a low-cost versatile virtual reality design and research setup between desktop and cave.** In: PROCEEDINGS OF THE 22ND INTERNATIONAL CONFERENCE ON EDUCATION AND RESEARCH IN COMPUTER AIDED ARCHITECTURAL DESIGN IN EUROPE, p. 142–147, 2004. (document), 3.1, 3.14
- [AgarawalaB06] AGARAWALA, A.; BALAKRISHNAN., R.. **Keepin' it real: Pushing the desktop metaphor with physics, piles and the pen.** In: CHI CONFERENCE ON HUMAN FACTORS IN COMPUTING SYSTEMS, p. 1283–1292. ACM, 2006. 1, 1.2(d)
- [AshdownR05] ASHDOWN, M.; ROBINSON, P.. **Escritoire: A personal projected display.** IEEE MultiMedia, 12(1):34–42, 2005. (document), 1.1, 1.7
- [BauerF04] D., B.; P., F. ; ET AL. **Computationally-enriched "piles" for managing digital photo collections.** In: VLHCC. IEEE, 2004. 1, 1.1(b)
- [BauerF05] D., B.; P., F. ; ET AL. **Spatial tools for managing personal information collections.** In: HICSS, volumen 4. IEEE, 2005. 1
- [BaumgartnerED07] BAUMGÄRTNER, S.; EBERT, A. ; DELLER, M.. **Dimensional congruence for interactive visual data mining and knowledge discovery.** In: EUROVIS, p. 99–106. Eurographics Association, 2007. (document), 3.1, 3.10
- [BellF00] BELL, B. A.; FEINER, S. K.. **Dynamic space management for user interfaces.** In: IN PROC OF UIST 2000, p. 239–248. ACM Press, 2000. 3.6
- [BellFH01] BELL, B.; FEINER, S. ; HÖLLERER, T.. **View management for virtual and augmented reality.** p. 101–110. ACM Press, 2001. 3.6
- [BenkoIF05] BENKO, H.; ISHAK, E. ; FEINER, S.. **Cross-dimensional gestural interaction techniques for hybrid immersive environments.**

- In: VIRTUAL REALITY 2005, p. 209–216. IEEE, 2005. (document), 3.9, 3.1
- [BillinghurstKP01] BILLINGHURST, M.; KATO, H. ; POUPYREV, I.. **The magicbook - moving seamlessly between reality and virtuality.** In: IWAR 99, p. 35–44, 1999. 1.1.2, 2.13(b), 2.5
- [BlundelS06] BLUNDELL, B.; SCHWARZ, A.. **Creative 3-D Display and Interaction Interfaces: A Trans-Disciplinary Approach.** John Wiley & Sons, 2006. 2.1, 2.3, 2.3.1, 4.1.1, 4.3.2
- [Blundel07] BLUNDELL, B.. **Enhanced Visualization: Making Space for 3-D Images.** John Wiley & Sons, 2007. 2.1
- [Bolt80] BOLT, R. A.. **“put-that-there”:** Voice and gesture at the graphics interface. In: SIGGRAPH '80: PROCEEDINGS OF THE 7TH ANNUAL CONFERENCE ON COMPUTER GRAPHICS AND INTERACTIVE TECHNIQUES, p. 262–270, New York, NY, USA, 1980. ACM. 2.4
- [Bolas94] BOLAS, M. T.. **Human factors in the design of an immersive display.** IEEE Comput. Graph. Appl., 14(1):55–57, 1994. 2.3.4, 2.12(b)
- [BornikBKRS06] BORNIK, A.; BEICHEL, R. ; SCHMALSTIEG, D.. **A hybrid user interface for manipulation of volumetric medical data.** In: IEEE SYMPOSIUM ON 3D USER INTERFACES. IEEE, 2006. (document), 3.1, 3.7
- [BowmanH97] BOWMAN, D. A.; HODGES, L. F.. **An evaluation of techniques for grabbing and manipulating remote objects in immersive virtual environments.** In: SI3D '97: PROCEEDINGS OF THE 1997 SYMPOSIUM ON INTERACTIVE 3D GRAPHICS, p. 35–ff., New York, NY, USA, 1997. ACM. 2.4, 3.2
- [BowmanKH97b] BOWMAN, D. A.; KOLLER, D. ; HODGES, L. F.. **Travel in immersive virtual environments: An evaluation of viewpoint motion control techniques.** In: PROCEEDINGS OF THE VIRTUAL REALITY ANNUAL INTERNATIONAL SYMPOSIUM, p. 45–52, 1997. 3.2
- [BowmanKH97a] BOWMAN, D. A.; KOLLER, D. ; HODGES, L. F.. **Evaluation of movement control techniques for immersive virtual environments,** 1997. 3.2
- [BowmanKH98] BOWMAN, D. A.; KOLLER, D. ; HODGES, L. F.. **A methodology for the evaluation of travel techniques for immersive**

- virtual environments.** *Journal of the Virtual Reality Society*, 3:120–131, 1998. 3.2
- [BowmanJH99] BOWMAN, D. A.; JOHNSON, D. B. ; HODGES, L. F.. **Testbed evaluation of virtual environment interaction techniques.** In: VRST '99: PROCEEDINGS OF THE ACM SYMPOSIUM ON VIRTUAL REALITY SOFTWARE AND TECHNOLOGY, p. 26–33, New York, NY, USA, 1999. ACM. 3.2
- [BowmanWCL01] BOWMAN, D. A.; WINGRAVE, C. A.; CAMPBELL, J. M. ; LY, V. Q.. **Using pinch gloves for both natural and abstract interaction techniques in virtual environments.** In: PROC. HCI INTERNATIONAL 2001, p. 629–633, 2001. 2.4
- [BowmanRP02] BOWMAN, D.; RHOTON, C. ; PINHO, M. S.. **Text input techniques for immersive virtual environments: An empirical comparison.** In: PROC. OF THE HUMAN FACTORS AND ERGONOMIC SOCIETY ANNUAL MEETING, p. 2154–2158, 2002. 3.2
- [BowmanDRFV02] BOWMAN, D. A.; DATEY, A.; RYU, Y. S.; FAROOQ, U. ; VASNAIK, O.. **Empirical comparison of human behavior and performance with different display devices for virtual environments.** In: PROCEEDINGS OF THE HUMAN FACTORS AND ERGONOMICS SOCIETY ANNUAL MEETING, p. 2134–2138, 2002. 3.2
- [BowmanKLP05] BOWMAN, D.; KRUIJFF, E.; LAVIOLA, J. ; POUPYREV, I.. **3D User Interfaces - Theory and Practice.** Addison-Wesley, 2005. 2.3, 2.3.1, 2.4, 4
- [BowmanBM07] BOWMAN, D. A.; BADILLO, B. ; MANEK, D.. **Evaluating the need for display-specific and device-specific 3d interaction techniques.** In: Shumaker, R., editor, HCI (14), volumen 4563 de **Lecture Notes in Computer Science**, p. 195–204. Springer, 2007. (document), 3.23, 3.2
- [BrenneckeSS07] BRENNECKE, A.; SCHLECHTWEG, S. ; STROTHOTTE, T.. **Opencrimescene review log - interaction log in a virtual crime scene investigation learning environment.** In: Braz, J.; Vázquez, P.-P. ; Pereira, J. M., editors, GRAPP (AS/IE), p. 185–190. INSTICC - Institute for Systems and Technologies of Information, Control and Communication, 2007. (document), 3.6, 3.30

- [Brooke96] BROOKE, J.. **Sus: a "quick and dirty" usability scale**. In: **USABILITY EVALUATION IN INDUSTRY**, London, 1996. Taylor and Francis. (document), 5.1.4, 5.2.2, C.1
- [ButzH99] BUTZ, A.; HOLLERER, T. ; ET AL.. **Enveloping users and computers in a collaborative 3d augmented reality**. In: **IWAR 99**, p. 35–44, 1999. (document), 3.4, 3.1, 3.3, 3.24
- [CardR96] CARD, S. K.; ROBERTSON, G. G. ; ET AL.. **The webbook and the web forager: an information workspace for the world-wide web**. In: **SIGCHI**. ACM, 1996. 1, 1.2(a)
- [CarvalhoRG07] CARVALHO, F. G.; A. B. RAPOSO, M. G.. **An approach for enabling the use of immersive virtual reality in desktop hybrid interfaces**. In: **IATED INT. CONF. ON HUMAN-COMPUTER INTERACTION**, p. 68–73, 2007. (document), 3.1, 3.11, 4.2
- [CarvalhoRG07b] CARVALHO, F. G.; A. B. RAPOSO, M. G.. **Uma interface híbrida para desktop integrando realidade virtual, realidade aumentada e 2d wimp**. In: **IX SIMPOSIUM ON VIRTUAL AND AUGMENTED REALITY SVR 2007**, p. 152–161, 2007. (document), 3.1, 3.11, 4.2
- [ChenPB04] CHEN, J.; PYLA, P. S. ; BOWMAN, D. A.. **Testbed evaluation of navigation and text display techniques in an information-rich virtual environment**. In: **VR '04: PROCEEDINGS OF THE IEEE VIRTUAL REALITY 2004**, p. 181, Washington, DC, USA, 2004. IEEE Computer Society. 3.2
- [CruzNeiraSD93] CRUZ-NEIRA, C.; SANDIN, D. J. ; DEFANTI, T. A.. **Surround-screen projection-based virtual reality: the design and implementation of the cave**. In: **SIGGRAPH '93: PROCEEDINGS OF THE 20TH ANNUAL CONFERENCE ON COMPUTER GRAPHICS AND INTERACTIVE TECHNIQUES**, p. 135–142, New York, NY, USA, 1993. ACM. 4.5
- [CutmoreHMLH00] CUTMORE, T. R.; HINE, T. J.; MABERLY, K. J.; LANGFORD, N. M. ; HAWGOOD, G.. **Cognitive and gender factors influencing navigation in a virtual environment**. *Int. J. Hum.-Comput. Stud.*, 53(2):223–249, 2000. 3.2
- [CzerwinskiTR02] CZERWINSKI, M.; TAN, D. S. ; ROBERTSON, G. G.. **Women take a wider view**. In: **CHI '02: PROCEEDINGS OF THE SIGCHI**

- CONFERENCE ON HUMAN FACTORS IN COMPUTING SYSTEMS, p. 195–202, New York, NY, USA, 2002. ACM. (document), 3.20, 3.2
- [CzerwinskiSRMRS03] CZERWINSKI, M. P.; SMITH, G.; REGAN, T.; MEYERS, B.; ROBERTSON, G. G. ; STARKWEATHER, G.. **Toward characterizing the productivity benefits of very large displays.** In: INTERACT, p. 9–16. IFIP, 2003. 1.1
- [DarkenD05] DARKEN, R.; DUROST, R.. **Mixed-dimension interaction in virtual environments.** In: VRST'05, p. 38–45. ACM, 2005. 2.6, 4
- [DemiralpKZL06] DEMIRALP, C.; KARELITZ, D. B.; ZHANG, S. ; LAIDLAW, D. H.. **Cave and fishtank virtual-reality displays: A qualitative and quantitative comparison.** IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 12(3):323–330, 2006. Member-Cullen D. Jackson. 3.2, 3.17(a), 3.17(b), 3.2, 3.2
- [DenoueNC03a] DENOUE, L.; NELSON, L. ; ET AL.. **A fast, interactive 3d paper-flier metaphor for digital bulletin boards.** In: UIST SYMPOSIUM ON USER INTERFACE SOFTWARE AND TECHNOLOGY. ACM, 2003. 1, 1.2(b)
- [Denoue03NCb] DENOUE, L.; NELSON, L. ; CHURCHILL, E.. **Attractive windows: Dynamic windows for digital bulletin boards.** In: CHI CONFERENCE ON HUMAN FACTORS IN COMPUTER. ACM, 2003. 1, 1.2(c)
- [DourishE99] DOURISH, P.; EDWARDS, W.. **Presto: an experimental architecture for fluid interactive document spaces.** In: TRANSACTION COMPUTER-HUMAN INTERACTION, p. 133–161. ACM, 1999. 1, 1.1(a)
- [DuboisNT01] DUBOIS, E.; NIGAY, L. ; TROCCAZ, J.. **Consistency in augmented reality systems.** In: Little, M. R.; Nigay, L., editors, CONFERENCE PROCEEDINGS OF EHCI'2001, p. 111–122, Toronto, Canada, 2001. Springer Verlag. 3.4
- [FeinerS91] FEINER, S.; SHAMASH, A.. **Hybrid user interfaces: Breeding virtually bigger interfaces for physically smaller computers.** In: ACM UIST 91, p. 9–17. ACM, 1991. (document), 1.1.2, 3.1
- [ForsbergHZ96] FORSBERG, A.; HERNDON, K. ; ZELEZNIK, R.. **Aperture based selection for immersive virtual environments.** In: UIST '96:

PROCEEDINGS OF THE 9TH ANNUAL ACM SYMPOSIUM ON USER INTERFACE SOFTWARE AND TECHNOLOGY, p. 95–96, New York, NY, USA, 1996. ACM. 2.4

[GerberB05] GERBER, D.; BECHMANN, D.. **The spin menu: A menu system for virtual environments.** In: VR '05: PROCEEDINGS OF THE 2005 IEEE CONFERENCE 2005 ON VIRTUAL REALITY, p. 271–272, Washington, DC, USA, 2005. IEEE Computer Society. 2.4

[GrassetLB05] GRASSET, R.; LAMB, P. ; BILLINGHURST, M.. **Evaluation of mixed-space collaboration.** In: ISMAR '05: PROCEEDINGS OF THE 4TH IEEE/ACM INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON MIXED AND AUGMENTED REALITY, p. 90–99, Washington, DC, USA, 2005. IEEE Computer Society. (document), 3.3, 4.4, 4.30, 5.1

[GrassetLB06] GRASSET, R.; LOOSER, J. ; BILLINGHURST, M.. **Transitional interface: concept, issues and framework.** In: ISMAR, p. 231–232. IEEE, 2006. (document), 1.1.2, 3.3, 3.25, 3.4, 3.5, 4.4, 4.30, 5.1

[GrassetDB08] GRASSET, R.; DUENSER, A. ; BILLINGHURST, M.. **Moving between contexts - a user evaluation of a transitional interface.** In: ICAT 2008: 18TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON ARTIFICIAL REALITY AND TELEXISTENCE, Keio University, Yokohama, Japan, 2008. 3.3, 5

[Grudin01] GRUDIN, J.. **Partitioning digital worlds: focal and peripheral awareness in multiple monitor use.** In: CHI '01: PROCEEDINGS OF THE SIGCHI CONFERENCE ON HUMAN FACTORS IN COMPUTING SYSTEMS, p. 458–465, New York, NY, USA, 2001. ACM. 1.1

[Han05] HAN, J. Y.. **Low-cost multi-touch sensing through frustrated total internal reflection.** In: UIST '05: PROCEEDINGS OF THE 18TH ANNUAL ACM SYMPOSIUM ON USER INTERFACE SOFTWARE AND TECHNOLOGY, p. 115–118, New York, NY, USA, 2005. ACM. 6.1

[HarveyJOC01] SMALLMAN, H. S.; JOHN, M. S.; OONK, H. M. ; COWEN, M. B.. **Information availability in 2d and 3d displays.** IEEE Computer Graphics and Applications, 21(5):51–57, 2001. (document), 3.6, 3.26

[IlieLWLFC04] ILIE, A.; LOW, K.-L.; WELCH, G.; LASTRA, A.; FUCHS, H. ; CAIRNS, B.. **Combining head-mounted and projector-based**

- displays for surgical training.** Presence: Teleoper. Virtual Environ., 13(2):128–145, 2004. (document), 3.1, 3.12
- [IshiiKA94] ISHII, H.; KOBAYASHI, M. ; ARITA, K.. **Iterative design of seamless collaboration media.** Commun. ACM, 37(8):83–97, 1994. 2.6
- [IshiiU97] ISHII, H.; ULLMER, B.. **Tangible bits: Towards seamless interfaces between people, bits and atoms.** In: CHI, p. 234–241, 1997. 1.1
- [JeongSCH08] JEONG, D. H.; SONG, C. G.; CHANG, R. ; HODGES, L.. **User experimentation: an evaluation of velocity control techniques in immersive virtual environments.** Virtual Reality, 2008. 3.2
- [KahnC95] J. KHAN, M.; CHATNOCK, E.. **How to prevent windowitis in you graphical interface.** In: SILICON VALLEY ERGONOMICS CONFERENCE AND EXPOSITION, p. 18–25, 1995. 1
- [Kimura99] KIMURA, D.. **Sex and Cognition.** MIT Press, 1996. 3.2
- [Kjeldskov01] KJELDSKOV, J.. **Combining interaction techniques and display types for virtual reality.** In: OZCHI 2001, p. 77–83, 2001. (document), 2.3, 2.3.1, 2.8, 2.4
- [KrugerC02] KRUGER, R.; CARPENDALE, M.. **Orientation and gesture on horizontal displays.** In: UBICOMP 2002 WORKSHOP ON COLLABORATION WITH INTERACTIVE WALLS AND TABLES, 2002. 1.1
- [KuesterMPC05] KUESTER, F.; CHEN, M.; PHAIR, M. E. ; MEHRING, C.. **Towards keyboard independent touch typing in vr.** In: VRST '05: PROCEEDINGS OF THE ACM SYMPOSIUM ON VIRTUAL REALITY SOFTWARE AND TECHNOLOGY, p. 86–95, New York, NY, USA, 2005. ACM. (document), 2.16, 2.4
- [LarimerB03] LARIMER, D.; BOWMAN, D. A.. **Vewl: A framework for building a windowing interface in a virtual environment.** In: IN PROC. OF IFIP TC13 INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMAN COMPUTER INTERACTION - INTERACT 2003, p. 1–5. IOS Press, 2003. 2.4
- [LeeYKYK07] LEE, S.; YIM, S.; KIM, G. J.; YANG, U. ; KIM, C.-H.. **Design and evaluation of a hybrid display system for motion-following tasks.** In: Shumaker, R., editor, HCI (14), volumen 4563 de Lecture



- Notes in Computer Science, p. 280–289. Springer, 2007. (document), 3.1, 3.13
- [LesselsR04] LESSELS, S.; RUDDLE, R. A.. **Changes in navigational behaviour produced by a wide field of view and a high fidelity visual scene.** In: 10TH EUROGRAPHICS SYMPOSIUM ON VIRTUAL ENVIRONMENTS, p. 71–78, June 2004. (document), 3.19, 3.2
- [LiangG94] LIANG, J.; GREEN, M.. **Jdcad: A highly interactive 3d modeling system.** Computers & Graphics, 18(4):499–506, 1994. 2.4, 2.4
- [Malone83] MALONE, T.. **How do people organize their desks?: Implications for the design of office information systems.** In: TRANSACTIONS ON INFORMATION SYSTEMS, p. 99–112. ACM, 1983. 1
- [ManderS92] R., M.; G., S.. **A "pile" metaphor for supporting casual organization of information.** In: CHI CONFERENCE ON HUMAN FACTORS IN COMPUTING SYSTEMS. ACM, 1992. 1
- [McMahanGGMB06] MCMAHAN, R. P.; GORTON, D.; GRESOCK, J.; MCCONNELL, W. ; BOWMAN, D. A.. **Separating the effects of level of immersion and 3d interaction techniques.** In: VRST '06: PROCEEDINGS OF THE ACM SYMPOSIUM ON VIRTUAL REALITY SOFTWARE AND TECHNOLOGY, p. 108–111, New York, NY, USA, 2006. ACM. 3.15(a), 3.15(b), 3.2
- [MiahA99] MIAH, T.; ALTY., J. L.. **Vanishing windows: an approach to adaptive window management.** In: KNOWLEDGE-BASED SYSTEMS, p. 381–389, 1999. 1
- [MilgramK94] MILGRAM, P.; KISHINO, A.. **Taxonomy of mixed reality visual displays.** IEICE Transactions on Information and Systems E77-D, 12:1321–1329, 1994. (document), 1.1.2, 1.10, 2.5, 3.3
- [Minsky80] MINSKY, M.. **Telepresence, omni magazine.** MIT Press Journals, p. 45–51, 1980. 2.3
- [Mine95] MINE, M. R.. **Virtual environment interaction techniques.** Technical report, UNC Chapel Hill CS Dept, 1995. 2.4
- [Molina08] MASSÓ, J. P. M.. **A Structured Approach to the Development of 3D User Interfaces.** PhD thesis, ALBACETE, ES, 2008. Adviser-Pascual González López. (document), 1.1.2, 1.9

- [MulderL02] MULDER, J. D.; LIERE, R. V.. **The personal space station: bringing interaction within reach.** In: VRIC2002, p. 73–81, 2002. (document), 2.9, 2.3.2, 3.5(c), 3.1
- [MulderB04] MULDER, J. D.; BOSCHER, B. R.. **A modular system for collaborative desktop vr/ar with a shared workspace.** In: IEEE CONFERENCE ON VIRTUAL REALITY, p. 75–82, 2004. 3.5(b), 3.1
- [NakashimaMKT05] NAKASHIMA, K.; MACHIDA, T.; KIYOKAWA, K. ; TAKAMURA, H.. **A 2d-3d integrated environment for cooperative work.** In: SYMPOSIUM ON VIRTUAL REALITY SOFTWARE AND TECHNOLOGY, p. 16–22. ACM, 2005. (document), 3.1, 3.6, 3.1
- [NicholasPKB05] POLYS, N. F.; KIM, S. ; BOWMAN, D. A.. **Effects of information layout, screen size, and field of view on user performance in information-rich virtual environments.** In: VRST '05: PROCEEDINGS OF THE ACM SYMPOSIUM ON VIRTUAL REALITY SOFTWARE AND TECHNOLOGY, p. 46–55, New York, NY, USA, 2005. ACM. 3.2
- [Norman88] NORMAN, D. A.. **The Psychology of Everyday Things.** Basic Books, April 1988. 5
- [PauschBBW95] PAUSCH, R. F.; BURNETTE, T.; BROCKWAY, D. ; WEIBLEN, M. E.. **Navigation and locomotion in virtual worlds via flight into hand-held miniatures.** In: SIGGRAPH, p. 399–400, 1995. (document), 2.14, 2.4
- [PoupyrevBWI96] POUPYREV, I.; BILLINGHURST, M.; WEGHORST, S. ; ICHIKAWA, T.. **The go-go interaction technique: Non-linear mapping for direct manipulation in vr.** In: ACM SYMPOSIUM ON USER INTERFACE SOFTWARE AND TECHNOLOGY, p. 79–80, 1996. (document), 2.15, 2.4
- [PoupyrevWBI97] POUPYREV, I.; WEGHORST, S.; M., B. ; ICHIKAWA, T.. **A framework and testbed for studying manipulation techniques for immersive virtual reality.** In: ACM SYMPOSIUM ON VIRTUAL REALITY SOFTWARE AND TECHNOLOGY, p. 21–28, Lausanne, Switzerland, 1997. ACM. 3.2
- [PoupyrevBI98] POUPYREV, I.; BILLINGHURST, M. ; ICHIKAWA, T.. **Ego-centric object manipulation in virtual environments: Empiri-**

- cal evaluation of interaction techniques. *Computer Graphics Forum*, 17(3):41–52, 1998. 3.2
- [PoupyrevI99] POUPYREV, I.; ICHIKAWA, T.. **Manipulating objects in virtual worlds: Categorization and empirical evaluation of interaction techniques.** *J. Vis. Lang. Comput.*, 10(1):19–35, 1999. 3.2
- [PrabhatFKWS08] PRABHAT; FORSBERG, A.; KATZOURIN, M.; WHARTON, K. ; SLATER, M.. **A comparative study of desktop, fishtank, and cave systems for the exploration of volume rendered confocal data sets.** *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 14(3):551–563, 2008. 3.18(a), 3.18(b), 3.2
- [RaimundH07] DACHSELT, R.; HÜBNER, A.. **Virtual environments: Three-dimensional menus: A survey and taxonomy.** *Comput. Graph.*, 31(1):53–65, 2007. 2.4
- [RajaBLN06] RAJA, D.; BOWMAN, D.; LUCAS, J. ; NORTH, C.. **Exploring the benefits of immersion in abstract information visualization.** In: 8TH INTERNATIONAL IMMERSIVE PROJECTION TECHNOLOGY WORKSHOP, 2004. 3.16(a), 3.16(b), 3.2
- [RaposoSGC04] RAPOSO, A. B.; SZENBERG, F.; GATTASS, M. ; CELES, W.. **Visão estereoscópica, realidade virtual, realidade aumentada e colaboração.** *Anais do XXIV Congresso da Sociedade Brasileira de Computação*, p. 289 – 331, 2004. A.1
- [RascarWC98] RASCAR, R.; WELCH, G.; CUTTS, M. ; ET AL. **The office of the future: A unified approach to image-based modeling and spatially immersive displays.** In: SIGGRAPH, p. 179–188. ACM, 1998. (document), 3.2, 3.1
- [RaymaekersBWC05] RAYMAEKERS, C.; BOECK, J. D.; WEYER, T. D. ; CO-NINX, K.. **The effect of display size on navigation in a virtual environment.** In: PROCEEDINGS INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENACTIVE INTERFACES - ENACTIVE '05, 2005. (document), 3.21, 3.2
- [RegenbrechtWB02] REGENBRECHT, H.; WAGNER, M. ; BARATOFF, G.. **Magiceeting: A collaborative tangible augmented reality system.** *Virtual Reality - Systems, Development and Applications*, 6(3):151–166, 2002. (document), 3.8, 3.1
- [ReitingerSBB06] REITINGER, B.; SCHMALSTIEG, D.; BORNICK, A. ; BEICHEL, R.. **Spatial analysis tools for virtual reality-based surgical**

- planning. In: 3DUI '06: PROCEEDINGS OF THE 3D USER INTERFACES, p. 37–44, Washington, DC, USA, 2006. IEEE Computer Society. 3.2
- [RekimotoS99] REKIMOTO, J.; SAITOH, M.. **Augmented surfaces: a spatially continuous work space for hybrid computing environments.** In: PROCEEDINGS OF CHI'99, p. 378–385. ACM, 1999. (document), 3.1, 3.3
- [RitterSHS03] RITTER, F.; SONNET, H.; HARTMANN, K. ; STROTHOTTE, T.. **Illustrative shadows: Integrating 3d and 2d information displays.** In: IN PROC. IUI 2003, p. 166–173. ACM Press, 2003. (document), 3.6, 3.28
- [ShermanC02] SHERMAN, W. R.; CRAIG, A. B.. **Understanding Virtual Reality: Interface, Application, and Design.** Morgan Kaufmann Publishers Inc., San Francisco, CA, USA, 2002. 1.2, 2.3, 2.3.1, 2.4, 2.4, 2.4
- [Shneiderman98] SHNEIDERMAN, B.. **Designing the User Interface: Strategies for Effective Human-Computer Interaction.** Addison-Wesley, 1998. 1
- [Slater03] SLATER, M.. **A note on presence terminology.** Presence-Connect, 3, 2003. 2.3
- [SmithD99] SMITH, S.; DUKE, D.. **Virtual environments as hybrid systems.** In: PROCEEDINGS OF EUROGRAPHICS UK 17TH ANNUAL CONFERENCE: EG-UK99, Cambridge, UK, 1999. 2.4
- [StadlerSB05] STADLER, G.; STEINER, T. ; BEIGLBÖCK, J.. **A practical map labeling algorithm utilizing image processing and force-directed methods.** In: CENTRO DE MATEMATICA DA UNIVERSIDADE DE COIMBRA - CMUC, 2005. 3.6
- [StereoGraphics97] CORPORATION, S.. StereoGraphics Corporation, [www.stereographics.com](http://www.stereographics.com), 1997. A.3
- [SteedP05] STEED, A.; PARKER, C.. **Evaluating effectiveness of interaction techniques across immersive virtual environmental systems.** Presence: Teleoper. Virtual Environ., 14(5):511–527, 2005. 2.3, 3.2, 3.2
- [Stereoscopy07] FOR REMOTE SENSING, C. C.. **Tutorial: Radar and stereoscopy visual ability in 3-d.** Technical report, Canada Center

- for Remote Sensing, [www.ccrs.nrcan.gc.ca/resource/tutor/stereo/](http://www.ccrs.nrcan.gc.ca/resource/tutor/stereo/), 2007. (document), A.1, A.1
- [TanCR03] TAN, D. S.; CZERWINSKI, M. ; ROBERTSON, G.. **Women go with the (optical) flow**. In: CHI '03: PROCEEDINGS OF THE SIGCHI CONFERENCE ON HUMAN FACTORS IN COMPUTING SYSTEMS, p. 209–215, New York, NY, USA, 2003. ACM. 3.2
- [TanGSP06] TAN, D. S.; GERGLE, D.; SCUPELLI, P. ; PAUSCH, R.. **Physically large displays improve performance on spatial tasks**. ACM Trans. Comput.-Hum. Interact., 13(1):71–99, 2006. (document), 3.22, 3.2
- [TeylingenRM97] VAN TEYLINGEN, R.; RIBARSKY, W. ; VAN DER MAST, C.. **Virtual data visualizer**. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 3(1):65–74, 1997. 2.4
- [ThanedarH04] THANEDAR, V.; HOLLERER, T.. **Semi-automated placement of annotations on videos**. In: TECHNICAL REPORT 2004-11, Santa Barbara, 2005. UC. 3.27(b), 3.6
- [TomA08] TULLIS, T.; ALBERT, B.. **Measuring the User Experience:Collecting, Analyzing, and Presenting Usability Metrics**. Morgan Kaufmann Publishers Inc., 2008. 5.2.2
- [Trevisan04] TREVISAN, D. G.. **Designing smooth connections between worlds**. In: EXTENDED ABSTRACTS OF THE 2004 CONFERENCE ON HUMAN FACTORS AND COMPUTING SYSTEMS CHI2004, SESSION DOCTORAL CONSORTIUM, p. 1043–1044. ACM Press, 2004. 3.4, 4, 4.4
- [TsangFKKB02] TSANG, M.; FITZMAURICE, G. W.; KURTENBACH, G.; KHAN, A. ; BUXTON, B.. **Boom chameleon: simultaneous capture of 3d viewpoint, voice and gesture annotations on a spatially-aware display**. In: ACM UIST SYMPOSIUM ON USER INTERFACE SOFTWARE AND TECHNOLOGY, p. 111–120, 2002. 2.3.4, 2.12(a), 2.3.4
- [WagnerS06] WAGNER, D.; SCHMALSTIEG, D.. **Handheld augmented reality displays**. In: VR '06: PROCEEDINGS OF THE IEEE CONFERENCE ON VIRTUAL REALITY, p. 321, Washington, DC, USA, 2006. IEEE Computer Society. 2.13(a)
- [WareJ88] WARE, C.; JESSOME, D. R.. **Using the bat: A six-dimensional mouse for object placement**. IEEE Comput. Graph. Appl., 8(6):65–70, 1988. 2.4

- [Ware090] WARE, C.; OSBORNE, S.. **Exploration and virtual camera control in virtual three dimensional environments.** In: SI3D '90: PROCEEDINGS OF THE 1990 SYMPOSIUM ON INTERACTIVE 3D GRAPHICS, p. 175–183, New York, NY, USA, 1990. ACM. 2.4
- [ZeleznikLAK02] ZELEZNIK, R.; LAVIOLA, J.; ACEVEDO, D. ; KEEFE, D.. **Pop through buttons for virtual environment navigation and interaction.** In: PROCEEDINGS OF VIRTUAL REALITY 2002, p. 127–134, March 2002. 2.4
- [ZudilovaS05] ZUDILOVA, E.; SLOOT, P.. **Bringing combined interaction to a problem solving environment for vascular reconstruction.** In: FUTURE GENERATION COMPUTER SYSTEMS, p. 1167–1176, 2005. 3.5(a), 3.1

## A Estereoscopia

### A.1 Percepção de Profundidade

Quando observamos o mundo ao nosso redor a “olho nu” ou através de uma fotografia, existem alguns efeitos ou dicas que nos fornecem características tridimensionais do que estamos vendo, ou seja, dicas de profundidade (*depth cues*). O sistema de percepção visual humano automaticamente usa todas essas dicas de profundidade para determinar a relação de distância entre objetos visualizados. Algumas dessas dicas são percebidas com os dois olhos (binoculares) enquanto outras requerem apenas um (monoculares). A percepção da profundidade é basicamente influenciada por “dicas” psicológicas e fisiológicas (Stereoscopy07). As fisiológicas são:

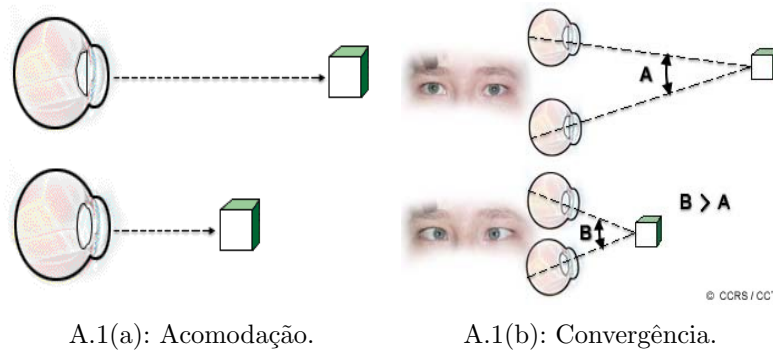


Figura A.1: Dicas fisiológicas para percepção (Stereoscopy07).

1) Acomodação: É a mudança da forma da lente do olho (através do tensionamento do músculo ocular), provocando mudança da distância focal. Desta forma, isto coloca em foco objetos em diferentes distâncias (Figura A.1(a)). Esta dica é somente efetiva a curtas distâncias (até dois metros).

2) Convergência: Está relacionada com a rotação dos olhos no momento de corrigir a direção dos olhos para o objeto em foco (Figura A.1(b)). Esta dica é somente efetiva para distâncias menores que 10 metros.

3) Disparidade Binocular : É provavelmente a dica de percepção mais importante para distâncias médias. Refere-se à diferença entre as imagens de um mesmo objeto visualizada pelos olhos na retina. Esta diferença ocorre porque os olhos enxergam os objetos a distâncias ligeiramente diferentes. Esta diferença entre as imagens observadas pelo olho direito e pelo olho esquerdo são processadas pelo cérebro, dando a nós uma noção de profundidade, e com isto tem-se a ideia de imersão em um ambiente com objetos com diferentes distâncias.

4) Disparidade de movimento: Com apenas um olho aberto é possível perceber profundidade com o movimento da cabeça. Objetos próximos do observador aparentam mover-se mais rápido do que objetos distantes. Isto acontece porque o sistema de visão consegue extrair profundidade através de duas imagens similares percebidas em sequência.

A convergência e a disparidade binocular são as únicas dicas de profundidade binoculares, todas as outras são monoculares (inclusive as dicas psicológicas). A seguir são listadas as dicas psicológicas de profundidade (RaposoSGC04):

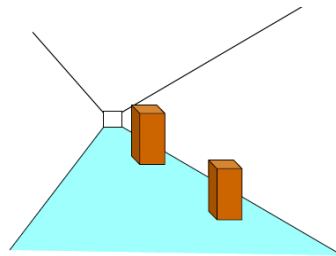


Figura A.2: Perspectiva.

1) Perspectiva: Objetos de mesmo tamanho devem aparecer maiores na foto quanto mais estiverem próximos da câmera. Na Figura A.2, os dois paralelepípedos têm mesmo tamanho, mas pelo efeito de perspectiva gerado a partir de linhas existentes (definindo um ponto de fuga), conclui-se que o paralelepípedo que aparece mais ao centro da imagem tem tamanho real maior.

2) Iluminação: o efeito de iluminação aplicado à cena adiciona à imagem uma descrição melhor da forma dos objetos presentes, contribuindo com o aumento do grau de realismo. Este efeito é exemplificado na Figura A.3. Note que, na Figura (a), o que parece é que existem um círculo e um hexágono, preenchidos com determinadas cores de forma uniforme. Já na Figura (b),





Figura A.3: Iluminação.

podem-se observar as verdadeiras formas dos objetos tridimensionais, esfera e cubo.

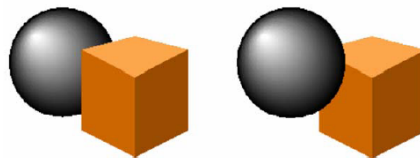


Figura A.4: Oclusão.

3) Oclusão: a oclusão é responsável em esconder partes de objetos, ou por inteiro, que estejam por de trás de outros. Com isto, observa-se a ordem dos objetos em termos de distância à câmera. Este efeito é ilustrado na Figura A.4. Na imagem da esquerda, a esfera está por trás do cubo na cena e na imagem da direita o cubo é que está por trás.

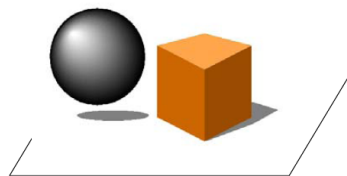


Figura A.5: Sombra.

4) Sombra: A sombra auxilia na resposta da seguinte pergunta: quando podemos afirmar que um objeto não está colado ao plano? Uma sombra de um objeto está sempre no plano de apoio e se o objeto está a uma distância na imagem da sombra, podemos concluir que o objeto não está no plano de apoio, como podemos ver na Figura A.5 com a esfera. Na mesma figura, parece

que o cubo está fixado no plano de apoio, mas esta afirmação não pode ser comprovada baseada apenas em uma imagem projetada.

## A.2 Estereoscopia no Computador

Devido à evolução das tecnologias de áudio, cada vez mais presente entre nós, seja via rádio de automóvel ou CD, estamos muito acostumados em relacionar estéreo ao som. Canais de áudio ligados a caixas de som independentes fazem chegar aos nossos ouvidos sons ligeiramente diferentes, e nos casos de fone de ouvido, exclusivamente diferentes. Estes sons são processados por nós no cérebro, dando a sensação de imersão ao ambiente onde originou os sons. Esta tecnologia de estéreo de som pode ser estendida ao visual [Lipton 1982].

Em computação gráfica, normalmente são geradas imagens mono (isto é, a partir de uma única câmera virtual) e estas imagens são visualizadas por um monitor ou projetadas em um plano. A estereoscopia visual, ao contrário, é feita a partir da geração de duas imagens a partir das localizações das câmeras virtuais separadas de uma determinada distância.

Em todos os sistemas usuais de estereoscopia visual, as imagens para cada olho são exibidas ou projetadas em um mesmo espaço. Então como se faz para cada olho enxergar o que cada um deve ver? Existem duas classificações de equipamento para estereoscopia: estéreo passivo e estéreo ativo. Tanto uma categoria quanto a outra utiliza óculos para separar as imagens (olho esquerdo e olho direito). Dependendo do tipo de óculos, o estéreo é classificado na categoria.

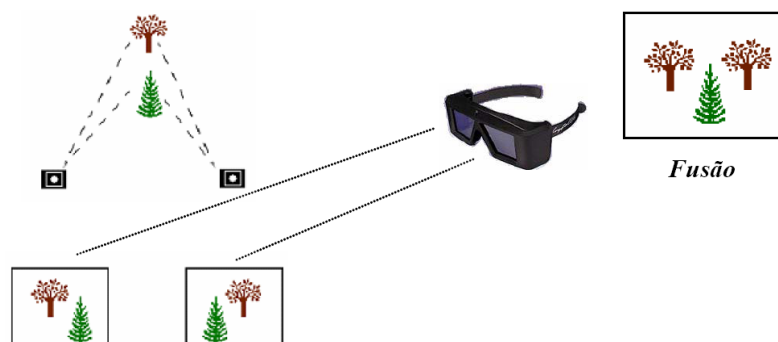


Figura A.6: Esquema de estereoscopia para computador.

A utilização dos óculos é ilustrada na Figura A.6. Duas imagens são geradas por duas câmeras e os óculos separam as imagens para cada olho e o cérebro realiza a superposição (ou fusão).

### Estéreo Passivo

A primeira categoria abordada é o estéreo passivo. Nesta categoria, as duas imagens são exibidas simultaneamente e os óculos atuam como filtros.

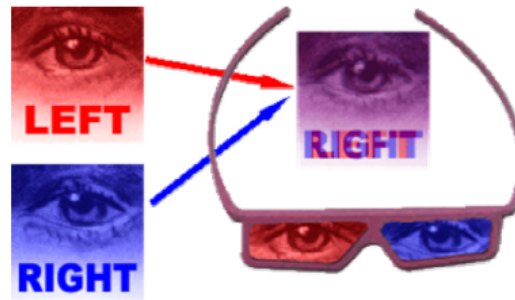


Figura A.7: Estéreo Anaglifo.

O estéreo anaglifo (do inglês anaglyph) é o exemplo mais comum e muito usado nos cinemas antigamente. Neste estéreo, a filtragem é feita por cores. No início da utilização desse estéreo, eram utilizadas duas cores apenas, vermelho e azul. Isto é, a imagem para o olho esquerdo tinha apenas componente de cor vermelha e a imagem para o olho direito componente azul, como ilustrado na Figura A.7. Atualmente adicionou-se a componente verde para um dos olhos para melhorar a qualidade da imagem, pois era restrita apenas a dois canais de cores. Cada lente dos óculos é feita de papel celofane da mesma cor da componente para o respectivo olho (vermelho para o olho esquerdo e azul para o olho da direita).

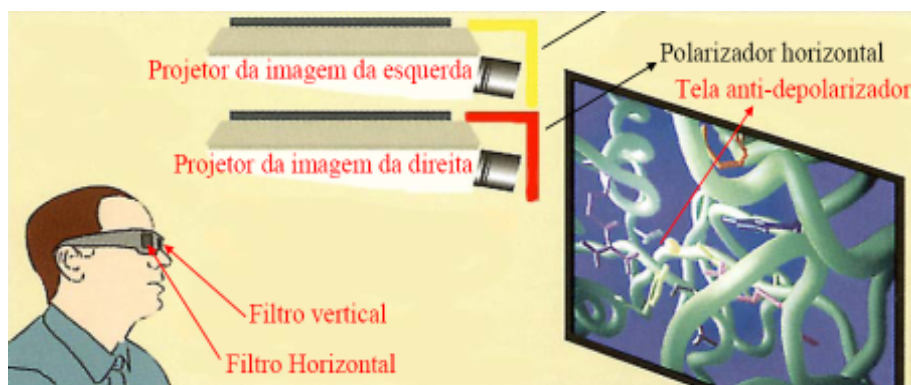


Figura A.8: Sistema para estéreo passivo por polarizador.

Uma alternativa ao estéreo baseado em cor é a utilização de polarizadores lineares. Neste caso são usados dois projetores para exibir as imagens e cada um contém uma lente polarizadora na frente. Estas lentes têm a propriedade de polarizar vertical ou horizontalmente a luz emitida pelo projetor, como ilustrado na Figura A.8.

A desvantagem desse sistema é que a inclinação da cabeça do observador leva à perda do estéreo. A solução para isto é mudar o tipo de polarizador: ao invés de linear, utilizar polarizadores circulares. O esquema a ser montado é idêntico, mudando apenas os polarizadores.

### Estéreo Ativo



Figura A.9: Estéreo Ativo.

Nesse tipo de estéreo, os óculos são sincronizados com o projetor ou monitor, conforme ilustrado na Figura A.9. Os óculos são compostos por duas lentes de cristais capazes de fechar a visão dos olhos. Quando uma visão é fechada, a outra é aberta, isto é, quando é projetada a imagem destinada ao olho direito, o projetor emite um sinal de sincronização para o emissor infravermelho, que é repassado para os óculos, fechando a visão do olho esquerdo e mantendo aberta a visão do olho direito. Similar para a visão destinada ao olho esquerdo, onde os óculos só permitem a visão para o olho esquerdo, bloqueando o direito. Levando em consideração que a frequência mínima para exibição em computador é 60 Hertz e que existem 2 imagens a serem projetadas (uma para cada olho), para termos um sistema estéreo ativo considerado bom, o projetor deve trabalhar em uma frequência mínima de 120 Hertz. Esta é uma das desvantagens desse sistema quando é usado projetor, pois seu preço é bem elevado. O preço do kit contendo um emissor e óculos sem fios também é alto. Apesar de ser possível montar o sistema com óculos ligados ao emissor através de fios, o não uso de fios permite que diversas pessoas utilizem o sistema simultaneamente, podendo então montar salas de visualização estéreo. A maior vantagem é a qualidade, normalmente superior à projeção passiva.

### A.3 Paralaxe

Para começar, como já foi citado ao longo do texto até aqui, existem diferenças entre imagens formadas nas retinas de cada olho quando sobrepostas.

Estas diferenças são na direção horizontal. A disparidade é zero para objetos onde os olhos convergem.

Já a paralaxe é a distância entre os pontos correspondentes das imagens do olho direito e do esquerdo na imagem projetada na tela. Em outras palavras, disparidade e paralaxe são duas entidades similares, com a diferença que paralaxe é medida na tela do computador e disparidade, na retina. É a paralaxe que produz a disparidade, que por sua vez, produz o estéreo. Isto é, na criação de imagens em estéreo, temos que nos preocupar com a paralaxe. Desta forma, neste contexto, podemos também referenciar a Disparidade Binocular e a Disparidade de Movimento (explicadas na Seção A.1) como Paralaxe Binocular e Paralaxe de Movimento.

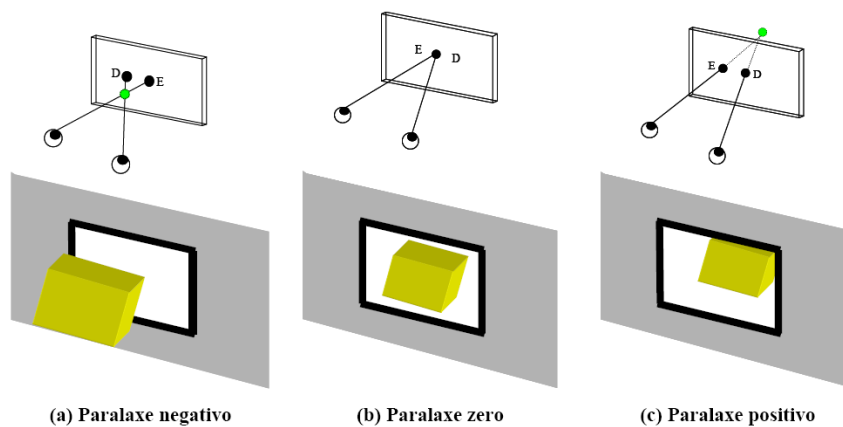


Figura A.10: Tipos de Paralaxe.

Os três tipos básicos de paralaxe são (StereoGraphics97):

1) Paralaxe zero: conhecido como ZPS (do inglês Zero Parallax Setting). Este tipo é ilustrado na Figura A.10(b). Um ponto com paralaxe zero se encontra no plano de projeção, tendo a mesma projeção para os dois olhos.

2) Paralaxe negativo: significa que o cruzamento dos raios de projeção para cada olho encontra-se entre os olhos e a tela de projeção, como é visto na Figura A.10(a), dando a sensação de o objeto estar saindo da tela.

3) Paralaxe positivo: indica que o ponto está atrás do plano de projeção, como ilustrado na Figura A.10(c), dando a sensação de que o objeto está atrás da tela de projeção.

Um fator importante que deve ser levado em consideração é que a distância do observador à tela afeta o efeito da estereoscopia. Quanto maior a distância à tela, maior o efeito estereoscópico (tanto positivo quanto negativo). Na Figura A.11 é ilustrado o caso para paralaxe positiva. Note que para o observador 2, que está mais distante da tela, o ponto também se encontra mais distante e para dentro, comparado ao observador 1.

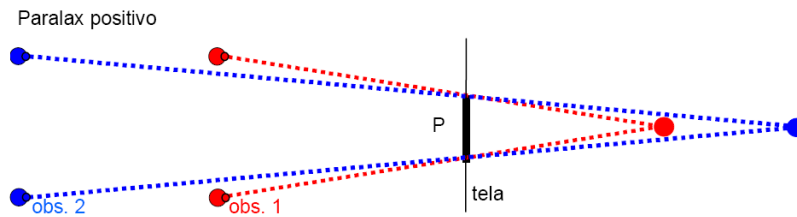


Figura A.11: Efeito estereoscópico com paralaxe positiva com distâncias diferentes do observador à tela.

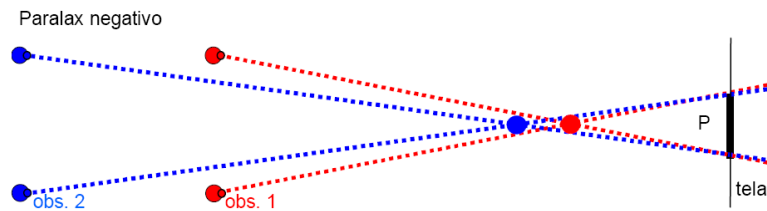


Figura A.12: Efeito estereoscópico com paralaxe negativa com distâncias diferentes do observador à tela.

Na Figura A.12 é ilustrado o efeito para o caso da paralaxe negativa.

No mundo real, a acomodação (mudança da forma da lente do olho) e a convergência (rotação dos olhos, corrigindo para o foco) estão associadas a um único ponto. Na estereoscopia visual através do computador, isto não ocorre. Nesse caso, as imagens são projetadas ou exibidas em uma tela e a sensação é que os objetos estão para fora ou para dentro dela. Isto é, a acomodação dos olhos é feita para a tela, enquanto que a convergência, baseada na paralaxe, não é para a tela. Esta quebra entre a acomodação e convergência pode gerar desconforto, causando inclusive mal-estar, devido ao hábito condicionado por toda a vida.

## **B**

### **Termo de Consentimento**

#### TERMO DE CONSENTIMENTO

Declaro que fui informado sobre todos os procedimentos da pesquisa e, que recebi de forma clara e objetiva todas as explicações pertinentes ao projeto e que todos os dados a meu respeito serão sigilosos. Eu compreendo que neste estudo, as medições dos experimentos/procedimentos de tratamento serão feitas em mim.

Declaro que fui informado que posso me retirar do estudo a qualquer momento.

Nome por extenso:

Assinatura:

Rio de Janeiro, de 2009.

## C

### Questionário de Satisfação

	Discordo completamente	Discordo	Neutro	Concordo	Concordo completamente
1. Gostaria de usar esse sistema					
2. Achei esse sistema muito complexo					
3. Achei esse sistema fácil de usar					
4. Acredito que precisaria de ajuda para poder usar esse sistema					
5. Achei que as modalidades de interação desse sistema estavam bem integradas					
6. Ocorreram muitos erros durante a interação					
7. Acredito que a maioria das pessoas aprenderiam a usar esse sistema rapidamente					
8. Achei esse sistema muito incomodo de usar					
9. Eu me senti muito seguro usando esse sistema					
10. Eu precisei aprender muitas coisas antes de usar esse sistema					

Figura C.1: System Usability Scale (Brooke96).



## D

### Questionário de usabilidade das transições do sistema

#### Questionário de usabilidade das transições do sistema

##### Usabilidade Geral

1. Nível de sucesso na realização da tarefa	( 1 2 3 4 5 )
2. Nível de dificuldade durante a realização das interações	( 1 2 3 4 5 )
3. Nível de conforto do uso do óculos no WIMP	( 1 2 3 4 5 )
4. Nível de conforto durante a interação	( 1 2 3 4 5 )
5. Utilidade da bancada como apoio de braço	( 1 2 3 4 5 )

##### Usabilidade da transição (continuidade funcional e perceptiva)

6. Grau de dificuldade causado pelo posicionamento do teclado na frente da MiniCave	( 1 2 3 4 5 )
7. Nível de dificuldade durante a manipulação do LCD	( 1 2 3 4 5 )
8. Nível de dificuldade durante a troca de dispositivos de interação (Wiimote/mouse)	( 1 2 3 4 5 )
9. Nível de conforto do uso do óculos durante toda a interação	( 1 2 3 4 5 )
10. Quanto a animação do LCD ajudou você na transição navegação-manipulação-navegação	( 1 2 3 4 5 )

##### Usabilidade da transição (continuidade cognitiva e perceptiva)

11. Facilidade em memorizar os comandos de transição (menus de contexto e botões do Wiimote) utilizados para transitar entre os ambientes	( 1 2 3 4 5 )
12. Quanto o cubo virtual (utilizado no ambiente de navegação) lembrou o seu arquivo correspondente no Windows Explorer (no Wimp)	( 1 2 3 4 5 )
13. Quanto o objeto manipulado no LCD (ambiente de manipulação) se assemelhava ao objeto selecionado no modo de navegação	( 1 2 3 4 5 )
14. Facilidade de orientar-se (localizar-se) durante as transições Navegação-Manipulação-Navegação	( 1 2 3 4 5 )