Universidade de Aveiro
2007
Departamento de Economia, Gestão e Engenharia Industrial

Angela Eika Pimentel Amado

Avaliação de Usabilidade de Ambientes de Realidade Virtual e Aumentada

Universidade de Aveiro
2007
Departamento de Economia, Gestão e Engenharia Industrial

Angela Eika Pimentel Amado

Avaliação de Usabilidade de Ambientes de Realidade Virtual e Aumentada

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Gestão da Informação, realizada sob a orientação científica da Prof. Doutora Maria Beatriz Alves de Sousa Santos, Professora Associada com Agregação da Universidade de Aveiro, e do Prof. Doutor Paulo Miguel Jesus Dias, Professor Auxiliar Convidado da Universidade de Aveiro, ambos do Departamento de Electrónica Telecomunicações e Informática da Universidade de Aveiro.

o júri

Presidente

Prof. Doutor Carlos Manuel dos Santos Ferreira
Professor Associado com Agregação da Universidade de Aveiro

Prof. Doutora Maria Beatriz Alves de Sousa Santos
Professora Associada com Agregação da Universidade de Aveiro

Prof. Doutor José Miguel Oliveira Salles Dias
Professor Associado Convidado do Instituto Superior de Ciências do Trabalho e da Empresa da Universidade Técnica de Lisboa

Prof. Doutor Paulo Miguel Jesus Dias
Professor Auxiliar Convidado da Universidade de Aveiro

agradecimentos

Agradeço especialmente aos meus orientadores, Professora Doutora Beatriz Sousa Santos e Professor Doutor Paulo Dias, por toda a paciência e tempo disponibilizado e dedicado. Agradeço também ao Professor Doutor Carlos Ferreira pelo auxílio nos estudos estatísticos das experiências práticas, ao Professor Doutor Joaquim Madeira por todos os textos cedidos, a Frank van Huussen, Pauline van der Horst e Jan-Willen Baggerman alunos da Universidade de Delft, Holanda, que realizaram o seu projecto de licenciatura na Universidade de Aveiro. Agradeço também a todos os utilizadores que testaram os sistemas, principalmente o Professor Doutor Filipe Teixeira Dias, Professor Doutor José Maria Fernandes, Professor Doutor José Silva e aos estudantes Alexandre Cruz e Samuel Silva, de doutoramento e mestrado respectivamente, que disponibilizaram seu tempo para realizar as experiências e explicitar suas opiniões e contribuições.

palavras-chave

Avaliação, Usabilidade, Realidade Virtual e Realidade Aumentada.

resumo

Esta dissertação tem como principal objectivo verificar a possibilidade da utilização de métodos e técnicas de avaliação de usabilidade criados para ambientes 2D em ambientes de realidade virtual e aumentada. Para alcançar tal objectivo foi realizada uma revisão bibliográfica dos principais conceitos e características dos ambientes de realidade virtual e aumentada, dos princípios e paradigmas que regem a usabilidade e das principais formas de avaliação da mesma. Com base no levantamento bibliográfico foram desenvolvidas duas experiências: a primeira consistiu numa experiência controlada com o objectivo de comparar o desempenho dos utilizadores num jogo desenvolvido num ambiente de realidade virtual e num ambiente *desktop*. A segunda permitiu uma avaliação qualitativa que se baseou na opinião de vários utilizadores depois dos mesmos visualizarem dados das suas áreas de aplicação num ambiente de realidade aumentada e num *desktop*. Também foram observadas as diferenças entre as formas de visualização, manipulação e orientação nos vários ambientes utilizados. Apesar das características específicas que os ambientes de realidade virtual e aumentada possuem, tais como manipulação intuitiva, interacção natural, visualização em mais de duas dimensões e utilização de diferentes dispositivos de entrada e saída, uma das principais conclusões desta dissertação é a confirmação da possibilidade de utilização dos métodos gerais de avaliação de usabilidade 2D em ambientes de realidade virtual e aumentada.

keywords Evaluation, Usability, Virtual Reality and Augmented Reality

abstract The main objective of this work is to verify the possibility to apply usability evaluation methods and techniques created for 2D environments in virtual and augmented reality. To achieve this objective, a bibliographic review was made to identify the main concepts and characteristics of virtual and augmented reality, the usability paradigms and principles and the typical usability evaluation methods. Based on this review, two different studies were performed: the first one consisted in a controlled experiment meant to compare users' performances in a gaming scenario in a virtual reality environment and a desktop. The second study was qualitative and some feedback was obtained from domain experts who used an augmented reality set-up as well as a desktop in different data visualization scenarios. During these studies, the differences between the visualization, manipulation and orientation in both environments were also observed. Despite the specific characteristics of virtual and augmented reality environments, such as intuitive manipulation, natural interaction, visualization in more than two dimensions and use of several input and output devices, the overall conclusion is that it is possible to adapt and to use the usability evaluation methods developed for 2D in virtual and augmented reality environments.

Índice

Capítulo 1 INTRODUÇÃO

Motivação e Relevância do Trabalho 1
Objectivos 2
Estrutura da Dissertação 2

Capítulo 2 REALIDADE VIRTUAL E/OU AUMENTADA

2.1 Conceitos da Realidade Virtual 5
2.2 Caracterização da Realidade Virtual 8
2.3 Conceitos e Caracterização da Realidade Aumentada 10
2.4 Classificação Geral 15
2.5 Breve História da Realidade Virtual e Aumentada 17
2.6 Principais Tecnologias Usadas 22
2.6.1 Tecnologias de *Tracking* 24
2.6.2 Outros Dispositivos de Entrada 29
2.6.3 Dispositivos de Saída 33

Capítulo 3 USABILIDADE

3.1 Definição 41
3.2 Paradigmas de Usabilidade 45
3.3 Princípios de Usabilidade 48

Capítulo 4 AVALIAÇÃO DE USABILIDADE

4.1 Definição 59
4.2 Avaliação Analítica do Projecto 64
4.2.1 *Cognitive Walkthrough* 64
4.2.2 Avaliação Heurística 65
4.2.3 Avaliação baseada em Revisão Bibliográfica 68
4.2.4 Avaliação baseada em Modelos 68
4.3 Avaliação de Implementação 71
4.3.1 Técnicas Experimentais 71
4.3.2 Técnicas Observacionais 72
4.3.3 Técnicas de Inquérito 74

Capítulo 5 AVALIAÇÃO DE USABILIDADE DE AMBIENTES VIRTUAIS

5.1 Experiências Relacionadas 79

5.2 Descrição do Ambiente Utilizado 81

5.2.1 Objectivos 82

5.2.2 *Hardware* Utilizado 82

5.2.3 *Software* Utilizado 84

5.3 Experiências no Ambiente de Realidade Virtual

5.3.1 Descrição 85

5.3.2 Metodologia de Avaliação 87

5.3.3 Suposições 88

5.3.4 Recolha de Dados 89

5.3.5 Apresentação e Análise dos Resultados 90

5.4 Experiências no Ambiente de Realidade Aumentada

5.4.1 Descrição 99

5.4.2 Metodologia de Avaliação 100

5.4.3 Suposições 100

5.4.4 Recolha de Dados 101

5.4.5 Casos Experimentais 101

Capítulo 6 CONCLUSÕES 109

REFERÊNCIA

Referência Bibliográfica 113

Referência – Páginas Web 121

Empresas que trabalham com produtos de Realidade Virtual e Aumentada 122

ANEXOS

Anexo 1 123

Anexo 2 125

Anexo “Corredores” 127

Índice de Figuras

Figura 2-1: Formas de selecção: tocar ou apontar/seleccionar o objecto virtual 10
Figura 2-2: "Continuum da Virtualidade" de Milgram 11
Figura 2-3: Biópsia de um tumor no peito, inserção de uma agulha guiada por um gráfico 3D 14
Figura 2-4: Feto virtual dentro da barriga de uma grávida 14
Figura 2-5: Peça mecânica em que especificações são mostradas de acordo com a selecção do utilizador 15
Figura 2-6: Modelo de canos sobreposto à imagem real 15
Figura 2-7: Fotografia promocional do simulador *Sensorama* 18
Figura 2-8: *Head-Mounted Display* de Sutherland 18
Figura 2-9: *Chorded Keyboard* 30
Figura 2-10: Exemplos de diferentes HMDs 33
Figura 2-11: Sistema *BOOM*, *Fakespace Pinch* (*dual* CRT 1280 x 1024) 34
Figura 2-12: Exemplos de *Shutter Glasses* 34
Figura 2-13: Utilizador "dentro" do sistema CAVE 35
Figura 2-14: Sistema *Virtual Retinal Display* 35
Figura 2-15: Rato reactivo da Logitech – *Wing Man Mouse* 37
Figura 2-16: *Phantom Desktop* 38
Figura 2-17: M1 *Desk* 39
Figura 2-18: *Display* Volumétrico – *Perspecta Display* 39
Figura 3-1: Modelo de Atributos de Sistemas de Aceitabilidade 43
Figura 3-2: Estrutura da Usabilidade 55
Figura 3-3: Actividades de usabilidade e documentos associados 56
Figura 5-1: HMD *i-glasses SVGA Pro* 83
Figura 5-2: Sensor de orientação *Intertrax 2* 83
Figura 5-3: Micro-câmara 83
Figura 5-4: Receptor de Vídeo 84
Figura 5-5: *Real TV Box Top 9* da NPG 84
Figura 5-6: Exemplo de Marcador 84
Figura 5-7: Diagrama do *ARToolkit* 85
Figura 5-8: Labirinto e Objecto Virtual 86

Figura 5-9: Utilizador jogando no sistema de realidade virtual 87
Figura 5-10: Esquerda – nº de objectos apanhados. Direita – nº de colisões 92
Figura 5-11: Esquerda – distância percorrida. Direita – velocidade média 92
Figura 5-12: Nº de objectos apanhados (esquerda) e velocidade média (direita) classificados quanto à experiência em jogos de computador 96
Figura 5-13: Nº de objectos apanhados (esquerda) e velocidade média (direita) classificados quanto à experiência em visualização de dados 3D 97
Figura 5-14: Nº de objectos apanhados (esquerda) e velocidade média (direita) classificados pelo sexo 97
Figura 5-15: Nº de objectos apanhados no ambiente RV (esquerda) e no ambiente DV (direita) classificados pelo ambiente utilizado primeiro (v - RV e d - DV) 98
Figura 5-16: Velocidade média no ambiente RV (esquerda) e no ambiente DV (direita) classificados pela ambiente utilizado primeiro (v - RV e d - DV) 98
Figura 5-17: Fluxo de água em torno do casco de uma embarcação 101
Figura 5-18: Ambiente utilizado na RA 102
Figura 5-19: Imagem capturada pela câmara *web* e projectada no monitor 102
Figura 5-20: Incorporação do perfil sugerido pelos utilizadores 104
Figura 5-21: Representação dos dados vectoriais correspondentes aos dipolos 105
Figura 5-22: Representação dos dados das bolhas de ar pulmonares 107

Índice de Tabelas

Tabela 2-1:	Tipos de interfaces mistas	11
Tabela 2-2:	Dois principais grupos determinados quanto à característica de imersão	15
Tabela 2-3:	Tipos de realidades geradas por computador	16 e 17
Tabela 2-4:	Tipos de Sensores	23
Tabela 2-5:	Funções de Transferência	24
Tabela 2-6:	Alguns exemplos de tecnologias de *tracking*: vantagens e desvantagens	27 e 28
Tabela 2-7:	Exemplos de dispositivos de entrada de texto	30 e 31
Tabela 2-8:	Outros exemplos de dispositivos de entrada	32
Tabela 2-9:	Principais características da tecnologia VRD	36
Tabela 3-1:	*Slogans* de Usabilidade de Jakob Nielsen	43 e 44
Tabela 3-2:	Partes da Norma ISO 9241	54
Tabela 4-1:	Avaliação do Projecto	63
Tabela 4-2:	Avaliação da Implementação	63
Tabela 4-3:	Comparação da regra de consistência entre aplicações 2D e 3D	68
Tabela 4-4:	Comparação da regra de *shortcuts* entre aplicações 2D e 3D	69
Tabela 4-5:	Comparação da regra de *feedback* informativo entre aplicações 2D e 3D	69
Tabela 4-6:	Comparação da regra de prevenção de erros entre aplicações 2D e 3D	70
Tabela 4-7:	Comparação da regra de redução da memória de curto prazo entre aplicações 2D e 3D	70
Tabela 4-8:	Projecto Experimental	72
Tabela 4-9:	Protocolo de Registo	73
Tabela 4-10:	Resumo das principais características de cada técnica de avaliação	77
Tabela 5-1:	Faixa etária dos participantes da experiência de realidade virtual	90
Tabela 5-2:	Distribuição dos participantes quanto ao hábito de jogar em computadores	90
Tabela 5-3:	Distribuição dos participantes quanto ao hábito de visualizar imagens tridimensionais	90
Tabela 5-4:	Médias e Medianas dos resultados	91
Tabela 5-5:	Resumo dos resultados quanto à tontura sentida	93

Tabela 5-6: Resumo dos resultados quanto à tontura e desorientação 94
Tabela 5-7: Resumo dos resultados quanto à dificuldade em apanhar objectos 95
Tabela 5-8: Ordem da experiência de realidade aumentada 102

Capítulo 1 INTRODUÇÃO

1.1 Motivação e Relevância do Trabalho

A motivação e a relevância desta dissertação estão relacionadas com a crescente importância que a realidade virtual e aumentada têm vindo a experimentar nos últimos tempos. Actualmente, verifica-se um interesse cada vez maior em relação aos sistemas computacionais para as interfaces virtuais, com ambientes imersivos e interacção mais flexível e intuitiva. Como resultado, os ambientes virtuais estão a tornar-se mais complexos, não só no que diz respeito aos aspectos gráficos, como também nas formas de interacção com os utilizadores [Bowman et al. 1999].

Este desenvolvimento rápido tem trazido como consequência alguma confusão no que diz respeito aos conceitos, definições, métodos, parâmetros de *design*, construção, implementação e avaliação. Estes têm sido actualizados a uma frequência tão elevada, que a informação está dispersa pela literatura e não uniformizada.

Os especialistas desta área acreditam que as interfaces virtuais podem trazer melhorias, pelo menos em determinadas situações específicas, no entanto o desenvolvimento tecnológico ainda está aquém das necessidades e expectativas criadas em torno da realidade virtual e aumentada. A utilização dos dispositivos e ferramentas para criar ambientes virtuais ou aumentados ainda enfrenta limitações, como o problema do tamanho e peso, não sendo possível interagir da forma mais natural possível. Contudo, muitos projectos e trabalhos estão a ser realizados no sentido de diminuir essas dificuldades [Peternier et al. 2006]. Apesar destas limitações tecnológicas, algumas empresas já estão a aplicar a tecnologia de realidade virtual e aumentada. É o caso da Alcatel Alenia Space Italy, no projecto e desenvolvimento de sistemas complexos para a indústria aeroespacial [Gaia 2006] e da Electricité de France, no desenvolvimento de operações complexas de manutenção [Thibault 2006].

Sendo assim, a incorporação da tecnologia de realidade virtual e aumentada na indústria é um facto consumado e é por esta razão que os projectistas se devem preocupar cada vez mais com a usabilidade destes sistemas, procurando torná-los mais fáceis de usar, promovendo eficiência, eficácia e satisfação de todos aqueles que os utilizam.

1.2 Objectivos

Segundo o autor Timothy Marsh [Marsh 1999], as várias técnicas, ferramentas e métodos de avaliação de usabilidade existentes actualmente estão voltados para ambientes 2D, sendo relativamente poucos os estudos de usabilidade para ambientes 3D de realidade virtual e aumentada. Sendo assim, o objectivo principal desta dissertação é realizar um estudo dos métodos de avaliação de usabilidade mais utilizados actualmente e verificar se estes podem ser adaptados à avaliação de ambientes de realidade virtual e aumentada.

Para atingir tal objectivo, será realizado um levantamento bibliográfico das obras mais relevantes acerca das formas de avaliação de usabilidade gerais, procurando-se validar a sua utilização em ambientes virtuais e/ou aumentados.

Contudo, esta dissertação não tem a pretensão de fazer uma revisão exaustiva da tecnologia utilizada, nem de criar um guia ou forma inovadora de avaliar a usabilidade destes tipo de ambientes; pretende sim contribuir para a reunião da informação existente sobre ambientes de realidade virtual e aumentada e suas possíveis formas de avaliação de usabilidade.

Além da revisão bibliográfica, pretende-se desenvolver um trabalho experimental que permita observar a utilização directa dos métodos de avaliação de usabilidade gerais em ambientes virtuais e aumentados. Serão realizadas duas experiências, uma envolvendo um ambiente de realidade virtual e outra um ambiente de realidade aumentada. Ambos os ambientes serão comparados com ambientes *desktop*. A primeira experiência consiste num jogo virtual 3D, que permitirá observar as diferenças entre a navegação e exploração em ambientes de realidade virtual e *desktop*. Enquanto que a segunda permitirá comparar a visualização e manipulação de objectos em ambientes de realidade aumentada e *desktop*.

1.3 Estrutura da Dissertação

Esta dissertação está estruturada em 6 capítulos. O capítulo 1 apresenta a motivação, a relevância e os objectivos deste trabalho.

O capítulo 2 apresenta os conceitos e características dos ambientes de realidade virtual e aumentada, além de um breve histórico e uma sucinta apresentação dos dispositivos de entrada e saída relacionados com estes ambientes.

O capítulo 3 apresenta a definição de usabilidade e os principais paradigmas, princípios, normas e directivas de usabilidade existentes, procurando sempre relacionar com os sistemas de realidade virtual e/ou aumentada.

O capítulo 4 apresenta as diversas formas de avaliação de usabilidade para ambientes 2D, tais como o *Cognitive Walkthrough*, Avaliação Heurística, Técnicas de Observação e de Inquérito. Sendo o objectivo, quando possível, adaptar as técnicas já estabelecidas em sistemas 2D, ou encontrar a melhor forma de avaliar os sistemas 3D de realidade virtual e/ou aumentada.

O capítulo 5 descreve um trabalho experimental desta dissertação, que inclui as experiências de usabilidade realizadas num ambiente de realidade virtual e aumentada.

O capítulo 6 aponta as principais conclusões possíveis da investigação realizada, bem como algumas pistas de trabalho futuro.

Capítulo 2 REALIDADE VIRTUAL e/ou AUMENTADA

"Virtual Reality is an event or entity that is real in effect but not in fact."
[Heim 1994]

2.1 Conceitos da Realidade Virtual

A realidade virtual tem tido um grande desenvolvimento nos últimos anos, é uma ferramenta que possibilita novas formas de ver e interpretar informação. Já é reconhecida como uma descoberta tecnológica importante e perspectiva-se uma maior aplicação em diferentes áreas, tais como na indústria automóvel, engenharia civil, aeronáutica, medicina, educação e entretenimento [Zimmermann 2006], [Zajtchuk et al. 1997], [Pan et al. 2005], [van Dam et al. 2002].

O termo, realidade virtual, tem sido muito explorado pelos *media* e pelas empresas de tecnologia. A sua utilização indiscriminada e, por vezes inapropriada, causa uma distorção do conceito na sua generalidade. A realidade virtual tem sido largamente utilizada para denominar um conjunto amplo de sistemas de base digital, como por exemplo universidades virtuais, museus virtuais, cirurgias virtuais, actores virtuais, porém nem tudo o que tem a designação virtual é realidade virtual.

Além disso, os conceitos foram-se modificando com o passar do tempo, há dez anos atrás a realidade virtual confundia-se com o conceito de espaço cibernético (*cyberspace*). Nessa época, ambos os termos designavam uma representação de ambientes gerados por computador [Lovine 1995], no entanto o conceito de espaço cibernético também evoluiu e modificou-se. A realidade virtual também já se confundiu com o conceito de multimédia, isso porque ambos os sistemas são capazes de combinar formas diferentes de *media*, tais como fotografias, imagens e sons, e ambos beneficiam dos desenvolvimentos da tecnologia digital [Pimentel et al. 1993].

Outra forma equivocada na determinação de realidade virtual, consiste em relacionar o conceito com os dispositivos envolvidos, ao invés do propósito ou função da aplicação em geral. Uma aplicação era definida como sendo de realidade virtual se utilizasse um *head-mounted display* (HMD) e/ou as *data gloves*, mas isto já não é determinante, uma vez que nem todos os sistemas que utilizam o HMD e as luvas são de realidade virtual. Além disso,

aqueles ambientes também podem ser obtidos sem o auxílio destes dispositivos [Burdea et al. 2003].

Ben Shneiderman [Shneiderman et al. 2005] considera a realidade virtual como uma extensão da manipulação directa. As interfaces provenientes da manipulação directa dão visibilidade a objectos e acções de interesse, são rápidas, reversíveis e substituem comandos digitados por acções de apontar. Segundo este autor, quando estas interfaces são complementadas com o HMD e as *data gloves*, cria-se um ambiente imersivo de realidade virtual; se não se verificar um isolamento total do mundo real, como por exemplo quando se adiciona informação à imagem real apresentada pelo computador, considera-se o ambiente como realidade aumentada.

Já a comunidade não científica tende a associar a realidade virtual com os jogos de simulação e efeitos especiais de filmes de acção, como por exemplo quando um actor contracena com uma personagem fictícia. John Vince [Vince 2004] afirma que o senso comum acredita que a realidade virtual cria objectos e ambientes para substituir o mundo real, ao invés de representar e construir mundos imaginários baseados no mundo real.

Ainda de acordo com John Vince [Vince 2004], a realidade virtual consiste na utilização de computadores para a criação de imagens e ambientes 3D, que permitam a uma pessoa navegar e interagir de forma imersiva ou não. A navegação implica a habilidade de mover-se e explorar características dos cenários 3D, como por exemplo criar um objecto e movê-los, examinando as suas particularidades. Enquanto que interagir é a possibilidade de interferir no que acontece, ou seja, a habilidade de seleccionar e mover objectos, tal como mover uma cadeira ou abrir uma porta; já a imersão consiste no aumento da sensação de presença do mundo virtual.

Sendo assim, para John Vince, o conceito de realidade virtual abrange os jogos 3D de computador que tenham características de navegação e interacção, porém os efeitos especiais de um filme não são considerados como tal, já que são efeitos gerados por computador e adicionados à cena filmada. Os actores não contracenam em mundos virtuais ou com personagens virtuais. Além disso, a realidade virtual pressupõe o processo de transformação dos modelos em imagens (*rendering*), ou seja, após qualquer modificação, as imagens são actualizadas formando uma nova interface de utilizador.

Outros autores, como Grigore Burdea e Philippe Coiffet [Burdea et al. 2003], concordam com John Vince quando afirmam que a essência da realidade virtual é a simulação de um

mundo sintético realista através da Computação Gráfica. Além disso, estes autores definem a realidade virtual como a mais avançada tecnologia em interfaces de utilizador compreendendo simulações em tempo real e interacções através dos canais sensoriais, tais como visão, audição, tacto, olfacto e paladar. O ambiente virtual não é estático, pois o sistema consegue identificar e responder aos comandos do utilizador, tais como os gestos ou a posição do corpo, modificando a estrutura do mundo sintético quase instantaneamente. De acordo com estes autores, as suas principais características são os 3 Is: Interacção, Imersão e Imaginação. As duas primeiras assemelham-se às definições de John Vince, enquanto que a última se refere à capacidade mental de solucionar problemas reais através da percepção de coisas não existentes.

No entanto, ainda para os mesmos autores, a telepresença e a realidade aumentada não se enquadram na definição de realidade virtual. No primeiro caso, por esta ser semelhante à telerobótica, uma vez que o utilizador controla uma máquina ou braço mecânico a distância. Como também, porque na realidade virtual o utilizador interage com um ambiente criado por computador, enquanto que na telepresença o ambiente é real, mas distante, sendo a única semelhança entre os dois a interface utilizada. Já no segundo caso, a realidade aumentada não faz parte da realidade virtual, porque combina objectos virtuais com imagens reais, para estes autores todo o ambiente deve ser gerado por computador para poder ser considerado como realidade virtual.

Já o autor Andries van Dam [van Dam et al. 2002], tal como Grigore Burdea e Philippe Coiffet, afirma que a realidade virtual imersiva tem o poder de facilitar a comunicação humano-computador, através da maximização dos sentidos humanos, resultante de combinações de *hardware*, *software* e dispositivos de interacção.

No que se refere à diferença entre realidade virtual e os outros sistemas baseados em computação gráfica, o autor Timothy Marsh [Marsh 1999] diz tratar-se de uma questão muito complexa. Este autor enumera três razões:

1. A terminologia aplicada não descreve precisamente um conceito de realidade virtual aceite internacionalmente;
2. Existe uma diversidade muito grande de *software* e *hardware*;
3. Não existe uma forma de quantificar ou medir as experiências provenientes da utilização da realidade virtual.

Apesar disto, Timothy Marsh afirma existirem características, atributos e conceitos em comum que ajudam na distinção, uma vez que a componente principal de todos os sistemas de realidade virtual consiste em conter modelos gráficos 3D de objectos ou ambientes reais, abstractos ou imaginários. Além disso, segundo este autor, as tarefas em ambientes virtuais 3D podem ser divididas em dois grupos:

1. Navegação e exploração;
2. Interacção e manipulação de objectos virtuais.

Desta forma, e de acordo com este autor, a diferença entre os sistemas *desktop* e os sistemas virtuais consiste no facto de os utilizadores ao executarem as tarefas nestes últimos não se restringem a utilizar aplicações, mas sim a "estar dentro" dessas aplicações.
Nestes termos, conclui-se que o conceito de realidade virtual é muito abrangente, podendo encontrar-se diversas definições na literatura. No entanto, existe uma noção comum entre os autores de que: a realidade virtual é a forma mais avançada de interface de utilizador disponível actualmente, que utiliza dispositivos multi-sensoriais, navegação em espaços tridimensionais, imersão e interacção em tempo real, facilitando a comunicação humano-computador.
Ou seja, numa interface deste tipo, o utilizador pode visualizar, manipular, navegar, interagir num ambiente tridimensional gerado por computador, sendo os dados manipulados em tempo real e da forma mais natural possível, através da utilização do conhecimento intuitivo que caracteriza a utilização do mundo físico.

2.2 Caracterização da Realidade Virtual

Como mencionado anteriormente, as principais características das aplicações de realidade virtual são a navegação, interacção e imersão. A primeira implica a capacidade de explorar as características do mundo virtual, ou seja, mover-se independentemente de tudo. Existem diferentes metáforas de navegação quanto à forma de controlar o ponto de observação, que sustentam ideias quanto a forma de controlar o ponto de observação (*viewpoint*) nos espaços 3D. De acordo com Colin Ware [Ware 2000], estas são:

- *Walking*: O utilizador fisicamente anda por uma área determinada pelo *tracking*. Este tipo é mais aconselhável para a visualização de estruturas arquitectónicas.
- *Point-and-fly*: A representação virtual do utilizador (*avatar*) pode navegar livremente pelo espaço 3D com o auxílio de dispositivos de entrada (ex.: câmara ou

data gloves). Neste tipo de metáfora, não é possível a correspondência directa com o movimento físico, a navegação é realizada quando o utilizador aponta para uma determinada direcção ou objecto. Após o acto de apontar, o sistema calcula o desvio e posicionará o utilizador em frente ao objecto, à velocidade escolhida.

- *Eyeball-in-hand* ou *Camera-in-hand*: O utilizador segura um *tracker* e manipula o seu "olho virtual". Esta técnica é apropriada para a análise de um único objecto a partir de diferentes pontos de observação.
- *Scene-in-hand*: Esta metáfora é oposta a anterior. Os movimentos dos dispositivos de entrada 3D são gravados dentro do mundo virtual, mantendo o ponto de observação do utilizador fixo e movendo o ambiente em volta. O utilizador controla o ponto de observação através das mãos.

Estes diferentes modos de navegação podem ser conjugados com diferentes dispositivos de entrada, aumentando a sua flexibilidade de utilização, uma vez que existem diversos parâmetros que afectam a navegação, como a velocidade de actualização do sistema e a distância entre os olhos. A escolha da metáfora mais adequada dependerá muito da tarefa a ser realizada [Ware 2000].

De acordo com Shamus Smith [Smith et al. 2004], a navegação em ambientes virtuais pode ser difícil devido a vários aspectos como as diversas formas de navegação, o ecrã com campo de visão restrito, a redução a uma única cor ou textura, ou a navegação muito próxima dos olhos.

No que se refere à interacção, esta consiste na possibilidade de interferir no ambiente criado. Baseia-se na rapidez de resposta dos dispositivos de *tracking*, a chamada capacidade reactiva, ao detectar os comandos ou a posição da cabeça, dos olhos ou mesmo do corpo do utilizador. De acordo com Adams [Adams 1994], uma aplicação de realidade virtual pode ter diferentes graus de interacção, que podem ser agrupados em três categorias:

- Interacção Passiva – oferece um "passeio" automático e sem interferência no ambiente; o caminho percorrido e os pontos de observação são controlados pelo *software*, o utilizador não tem controle, excepto para sair ou finalizar a sessão (limita-se a navegar);
- Interacção Exploratória – proporciona um "passeio" conduzido pelo utilizador, que pode escolher o caminho e os pontos de observação, mas não pode interagir;

- Interacção Interactiva – permite ao utilizador explorar, bem como interagir; o ambiente responde às acções do participante, que podem ser realizadas através de uma função de selecção, tal como através da voz, menus virtuais, ou até mesmo ao tocar um objecto virtual ou utilizar dispositivos de laser ou apontadores de luz (ver Figura 2-1).

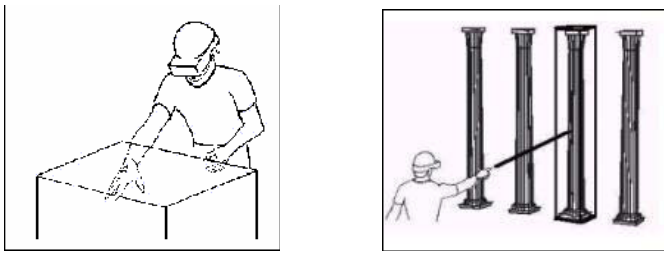


Figura 2-1: Formas de selecção: tocar ou apontar/seleccionar o objecto virtual.

Finalmente, a imersão, que pode ser total ou parcial. Esta característica proporciona a impressão de isolamento do mundo real através de estímulos psicológicos e físicos. Não está somente relacionada com os dispositivos físicos, está também ligada à imersão emocional e mental, que têm grande relevância e são independentes da imersão visual ou perceptiva [Robertson et al. 1997]. Muitos autores referem-se à característica de imersão como aquela que distingue os sistemas de realidade virtual dos outros sistemas de interacção em tempo real. O sistema virtual ideal é aquele que manipula completamente todos os sentidos, o que na essência, substitui por completo a realidade física.

2.3 Conceitos e Caracterização da Realidade Aumentada

A realidade aumentada é um caso particular das realidades mistas. Estas conjugam realidade com "virtualidade", seja através da introdução de objectos reais no mundo virtual ("virtualidade" aumentada), seja adicionando objectos virtuais à realidade (realidade aumentada) como forma de complementar em lugar de substituir [Azuma 1997]. No entanto, na literatura geralmente encontra-se o termo realidade aumentada com o significado de realidade mista.

Apesar de ser uma referência com mais de 10 anos, Paul Milgram [Milgram et al. 1994] distingue a realidade virtual da realidade aumentada no que se refere à imersão, enquanto a primeira ocorre num mundo virtual isolado da realidade, completamente artificial, a segunda acontece no mundo real com o acréscimo de elementos virtuais, ou seja, ambiente

físico real enriquecido com objectos virtuais. Paul Milgram idealizou o conceito de "*Virtuality Continuum*", que classifica o tipo de sistema com relação ao nível de imersão (observar a figura 2-2).

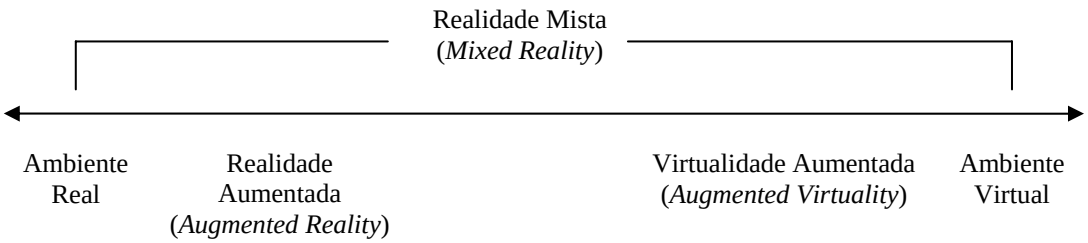


Figura 2-2: "Continuum da Virtualidade" de Milgram. Fonte: [Milgram et al. 1994].

De acordo com Azuma [Azuma et al. 2001], os sistemas de realidade aumentada possuem três características principais:

1. Combinação entre o real e o virtual num ambiente real;
2. Interacção em tempo real;
3. Alinhamento entre objectos reais e virtuais.

Esta caracterização de Azuma possibilita a utilização de diferentes tipos de *displays*, tais como monitores *desktop*, sistemas monoculares, dentre outros além dos HMDs. Conjugando com a classificação de Paul Milgram [Milgram et al. 1994] é possível distinguir diferentes tipos de interfaces mistas (ver tabela 2-1).

Head-Worn Display (HWD)	Existem dois tipos de HWD: - *Head-mounted display* (HMD), localizado na cabeça do utilizador, em que as imagens são projectadas num monitor perto dos olhos. Os dois tipos mais comuns de HMD são os *optical see-through* e *video see-through*. - *Virtual Retinal Display* (VRD), que projecta imagens directamente na retina.
Handheld	Alguns sistemas de realidade aumentada estão a começar a usar painéis LCD com câmaras (usando o princípio do *video see-through*).
Ecrãs de Projecção	A informação virtual é projectada directamente sobre a realidade a ser "aumentada", sem a utilização de óculos. Um exemplo é o sistema CAVE (*Cave Automatic Virtual Environment*).

Tabela 2-1: Tipos de interfaces mistas. Fonte: [Azuma et al. 2001].

De todos os tipos de interfaces de realidades mistas acima citados, as duas tecnologias mais aplicadas são:

- ***Optical See-Through*** – utiliza HMD com lentes semi-transparentes, que possibilitam a visualização do ambiente real, em tempo real, com elementos virtuais sobrepostos.
- ***Video See-Through*** – utiliza o HMD para reproduzir as imagens do ambiente real, captadas por uma câmara de vídeo estrategicamente posicionada ao nível dos olhos do utilizador.

Ambas as tecnologias *See-through* têm os seus problemas, tais como limitações no brilho, resolução, campo de visão, contraste, porém existem vantagens e desvantagens entre os sistemas *optico* e *video see-through*.

As vantagens do sistema óptico em relação ao sistema vídeo são [Azuma 1997], [Azuma et al. 2001]:

- Simplicidade: a conjugação das imagens nos sistemas ópticos é mais simples e mais económica que nos sistemas vídeo, porque só precisam se preocupar com as imagens virtuais, uma vez que o mundo real é visto directamente. Enquanto que os sistemas vídeo têm duas imagens separadas (virtual e real) para conjugar;
- Resolução: tanto os sistemas ópticos quanto os vídeo têm a resolução limitada aos dispositivos utilizados, no entanto os sistemas vídeo diminuem a resolução tanto das imagens reais quanto das virtuais, enquanto que os sistemas ópticos diminuem somente das virtuais, mantendo a resolução da realidade, uma vez que proporcionam visão directa do mundo real;
- Segurança: nos sistemas ópticos, o utilizador não irá colidir contra obstáculos, uma vez que os visualiza directamente, enquanto que nos sistemas vídeo, esta poderão ocorrer se os objectos não estiverem representados no ambiente virtual. Além disso, em caso de falha de energia, o utilizador fica "cego" nos sistemas vídeo, o que não ocorre nos sistemas ópticos já que o HMD permite ver a realidade directamente;
- *Eye offset*: nos sistemas vídeo, o utilizador vê o mundo real através das câmaras de vídeo, porém estas nem sempre estão exactamente ao nível dos olhos do utilizador, causando uma diferença entre os olhos e as câmaras (*offset*). Além disso, a distância entre as câmaras pode não corresponder à distância entre os olhos, logo o

utilizador não visualiza aquilo que esperava. O mesmo não acontece nos sistemas ópticos.

Quanto às vantagens que os sistemas vídeo têm em relação aos sistemas ópticos, estas são [Azuma 1997] e [Azuma et al. 2001]:

- Flexibilidade na composição de estratégias: um dos problemas dos sistemas ópticos é não conseguirem encobrir completamente os objectos reais, pois permitem a passagem de luz tanto das fontes reais quanto virtuais, ao contrário dos sistemas vídeo, que são mais flexíveis. Uma vez que nestes últimos, o virtual e o real, estão em formato digital, é possível manipular *pixel* a *pixel*, retirando parte do ambiente real ou simulando transparência;
- Campo de visão amplo: a construção de um amplo campo de visão é mais fácil nos sistemas vídeo do que nos ópticos. Isto porque as imagens distorcidas capturadas pelas câmaras podem ser corrigidas por técnicas computacionais, uma vez que todas elas são digitalizadas. No entanto, nos sistemas ópticos, as imagens não podem ser corrigidas digitalmente, pois as distorções são em imagens reais, sendo somente possível a correcção óptica;
- Atrasos na visualização das imagens reais e virtuais: enquanto que nos sistemas vídeo é possível atrasar as imagens reais para haver uma sincronização entre o real e o virtual, os sistemas ópticos mostram instantaneamente o mundo real com um pequeno atraso das imagens virtuais;
- Informação adicional: nos sistemas vídeo existe uma maior possibilidade de manipular as imagens, pois a localização da cabeça do utilizador pode ser determinada pelas imagens digitais da cena real, enquanto que nos sistemas ópticos a única fonte de informação é o *tracker* da cabeça;
- Brilho dos objectos reais e virtuais: nos sistemas vídeo é mais fácil de igualar o brilho dos dois tipos de objectos [Fischer e tal. 2006].

Outras dificuldades enfrentadas por ambas as realidades mistas baseadas na tecnologia *See-through* estão relacionadas com:

- Focagem: Nos sistemas vídeo, a focagem depende da profundidade de campo da câmara, pelo que parte do mundo real pode não estar focada, enquanto nos sistemas ópticos, o objecto real está a uma distância real e o objecto virtual deve

ser projectado a esta mesma distância, caso contrário não será possível uma visualização clara das duas imagens.

- Contraste: Nos sistemas vídeo, não é um grande problema, porque todas as imagens são digitais, sendo fácil a sua correcção. Enquanto nos sistemas ópticos, se o ambiente real for muito claro, irá apagar a imagem virtual, se for muito escuro irá fazê-la sobressair.
- Portabilidade: Ambos os sistemas têm limitações tecnológicas relacionadas com o peso e a necessidade de vestir fatos e sistemas de *tracking*.
- Precisão: Ambos os sistemas necessitam ser precisos para que os dois mundos possam coexistir em harmonia e para que a realidade mista possa ser utilizada em diferentes aplicações.

Ambas as tecnologias têm as suas vantagens e desvantagens, sendo a escolha de uma delas dependente dos requisitos de cada aplicação. De acordo com Azuma [Azuma 1997], os sistemas ópticos são mais utilizados em situações mecânicas, porque são mais económicos e seguros, enquanto que os sistemas vídeo são mais utilizados em aplicações médicas, porque são mais flexíveis na conjugação das imagens reais e virtuais e por terem a possibilidade de oferecer mais informação.

A relevância da tecnologia de realidade aumentada deve-se ao facto de o utilizador poder observar detalhes, auxiliando a realização de tarefas reais. Existe, por exemplo, a possibilidade da sua aplicação em visualizações médicas, podendo o médico ter uma visão interna do paciente sem precisar fazer uma grande incisão, ou podendo ver o feto dentro da barriga da mãe (ver figura 2-3 e 2-4) [Azuma 1997]. Também em situações de manutenção ou treino em que as instruções são mostradas em formato 3D sobreposto a uma máquina, esta tecnologia pode ser aplicada. Aplicações em arquitectura e planeamento urbano, engenharia e planeamento de produção, educação (ver figura 2-5), aprendizagem, treino e jogos são também possíveis (ver figura 2-6).

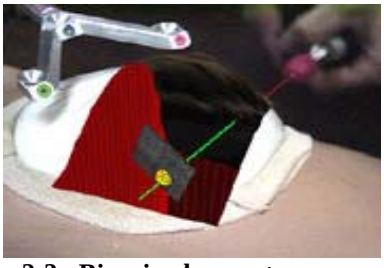


Figura 2-3: Biopsia de um tumor no peito, inserção de uma agulha guiada por um gráfico 3D. Fonte: [Azuma 1997].

Figura 2-4: Feto virtual dentro da barriga de uma grávida. Fonte: [Azuma 1997].

Figura 2-5: Peça mecânica em que especificações são mostradas de acordo com a selecção do utilizador. Fonte: [Azuma 1997].

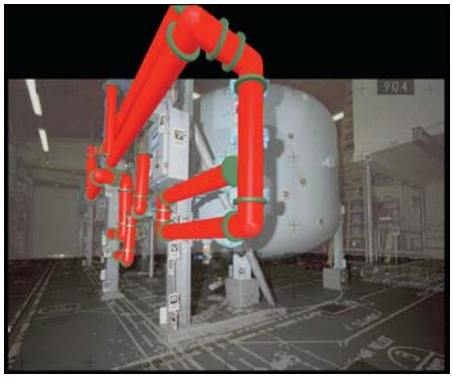


Figura 2-6: Modelo de canos sobreposto à imagem real. Fonte: [Azuma et al. 2001].

2.4 Classificação Geral

Muitas são as classificações aceites para as realidades criadas por computador, o que se deve, provavelmente, à sua natureza interdisciplinar. Apesar de ainda não existir um critério de classificação definido, a diferenciação entre os sistemas de realidade virtual, baseia-se geralmente nos níveis de imersão e de interactividade proporcionados aos utilizadores.

Os dois grandes grupos que englobam as realidades criadas por computador quanto à característica de imersão são os indicados na tabela 2-2.

Realidade Virtual Imersiva	Utiliza dispositivos que promovem a sensação de imersão física e psicológica, tais como o *head-mounted display* (HMD), projecção em paredes ou sistemas CAVE, dispositivos de *force feedback*;
Realidade Virtual Não Imersiva	Projecta imagens 3D em monitores tradicionais. Estes ambientes têm evoluído muito, diminuindo as limitações e aumentando a facilidade de utilização. Actualmente, a realidade virtual exibida em monitores pode utilizar dispositivos (ex.: *shutter glasses*, *tracker*) que estimulam os sentidos, introduzindo, assim, um certo grau de imersão nesses tipos de ambiente. Os monitores, comparados com os HMD, têm baixo custo, alta resolução, são comuns e fáceis de usar, logo têm vindo a ser largamente utilizados nos estudos da realidade virtual e aumentada;

Tabela 2-2: Dois principais grupos determinados quanto à característica de imersão.

Com relação às diferentes realidades criadas por computador existem diferentes denominações, as principais são:

Realidade Virtual de Simulação	O utilizador interage num mundo virtual correspondente aos simuladores de voo. Os seus comandos modificam as imagens, que são apresentadas em telas e monitores, utiliza objectos reais e estímulos realizados por computador, as cabines podem ser montadas em cima de uma plataforma móvel e podem disponibilizar *feedback* táctil e auditivo [Vince 2004], [Chevassus et al. 2006].
Realidade Mista	Esta é uma variação particular da tecnologia de realidade virtual e refere-se a incorporação de objectos virtuais gerados por computação gráfica em situações reais ou a inclusão de elementos do mundo real em ambientes virtuais. O ponto crítico é a sobreposição exacta das imagens reais e virtuais [Pan et al. 2005]. A realidade mista divide-se em: • Realidade Aumentada – Ambiente que inclui objectos virtuais em situações reais. A realidade aumentada combina uma cena real vista pelo utilizador e outra gerada por computador, que "aumenta" a cena com informação adicional, logo é possível observar os detalhes virtuais de um objecto real. • "Virtualidade" Aumentada – Ambiente que inclui elementos reais em ambientes virtuais; com uma câmara de vídeo é possível capturar imagens reais e misturá-las às virtuais [Milgram et al. 1994]. Também chamada de Realidade Virtual de Projecção ou Realidade Artificial.
Tele-presença ou Tele-existência	Sistema que, com o auxílio de robôs, estende as capacidades motoras e sensoriais do utilizador, possibilitando a execução de tarefas em locais reais distintos. A acção do utilizador é traduzida em acções realizadas pelo robô. Um exemplo é a teleoperação, em que o médico opera o paciente localizado em outro sítio, com o auxílio de um robô e sensores de *feedback*. Tele-presença e realidade virtual diferem no que diz respeito ao ambiente de actuação, enquanto que a primeira técnica actua no mundo real, a segunda actua sobre o mundo virtual ou simulado [Burdea et al. 2003].

Realidade Virtual de Mesa	Conjunto de sistemas tradicionais, monitor ou sistemas de projecção, teclado e rato, mas com visualização de gráficos 3D que incorpora frequentemente dispositivos que acrescentam imersão, tal como os óculos com visão estereoscópica e *trackers* para os movimentos da cabeça ou corpo. Por utilizarem equipamentos tradicionais, de custo não muito elevado, estes tipos de sistemas virtuais são cada vez mais sendo utilizados [Demiralp et al. 2006]. Os dois tipos mais comuns de realidade virtual de mesa são: • *Fishtank Virtual Reality* – utiliza sistema de *tracking* e pode utilizar um *display* estereoscópico, não englobando visualmente o utilizador por completo [Robertson et al. 1997], [Ware et al. 1993]. Segundo Kevin Arthur [Arthur et al. 1993] o sistema *fishtank* tem, por vezes, vantagens sobre o HMD, tornando-se mais prático em algumas aplicações. • *Desktop Virtual Reality* – utiliza o monitor do computador sem sistema de *tracking* para criar mundos virtuais utilizando animações interactivas de imagens/gráficos 3D. Exemplo: jogos de computador [Robertson et al. 1997].

Tabela 2-3: Tipos de realidade geradas por computador.

2.5 Breve História da Realidade Virtual e Aumentada

A ideia de realidade virtual não é recente, na década de 60, iniciou-se a idealização de dispositivos que se aproximavam das ideias de realidade virtual e aumentada. Em 1962, Morton Heilig criou o primeiro simulador que tinha algumas características da realidade virtual, o simulador *Sensorama* (ver figura 2-7) [Pimentel et al. 1993]. Foi a primeira experiência que utilizou a apresentação de filmes 3D, som estéreo, aromas, até efeitos de vento e vibrações da cadeira. O mesmo investigador desenhou um *head-mounted display* (HMD) rudimentar, mas que já envolvia imagens 3D, controle de focagem óptica, som estereofónico e a capacidade de obtenção de cheiros.

Figura 2-7: Fotografia promocional do simulador Sensorama. Fonte: [Pimentel et al. 1993].

Em 1965, Ivan Sutherland publicou um estudo intitulado "*The Ultimate Display*", no qual sugeriu que, no futuro, os computadores se tornariam uma "janela" para os mundos virtuais e que a forma de exibição das imagens computacionais seria tão realista que se tornaria indistinguível da imagem real. Em 1966, deu continuidade à ideia do *head-mounted display* de Morton Heilig ao acrescentar dois tubos de raios catódicos (CRTs), um braço mecânico, para sustentar o peso dos tubos, e um dispositivo que identificava a direcção da visão do utilizador (ver figura 2-8) [Burdea et al. 2003]. Naquela época, os HMDs eram miniaturas de CRT, mas com a mesma configuração actual, e os dispositivos de *tracking* eram normalmente magnéticos ou ultra-sónicos.

"*Don't think of that thing as a screen, think of it as a window, a window through which one looks into a virtual world. The challenge to computer graphics is to make that virtual world looks real, sounds real, moves and responds to interaction on real time, and even feels real.*" (Ivan Sutherland)

Figura 2-8: *Head-Mounted Display* de Sutherland. Fonte: [Pimentel et al. 1993].

Ivan Sutherland também foi o primeiro a utilizar unicamente imagens geradas por computador ao invés de imagens capturadas por uma câmara de vídeo, o que permitiu a criação de simuladores que continham uma sequência de imagens geradas por computador e apresentadas em fracções de segundos. Naquela época, anos 70, as cenas eram simples (com somente 200 a 400 polígonos) e cada uma demorava 1/20 segundos a ser processada e mostrada (logo 20 cenas por segundo) [Burdea et al. 2003].

Ivan Sutherland previu ainda a incorporação da sensação de tacto (*haptics sensation*) permitindo a sensação de pegar ou tocar um objecto virtual. No entanto, foi Frederick Brooks e alguns colegas da Universidade da Carolina do Norte, Estados Unidos, que tornaram a ideia realidade. Com a ajuda de um braço robótico conseguiram simular forças de colisão tridimensionais, como por exemplo se o utilizador impelisse com força uma parede virtual, o braço mecânico faria uma força contrária tridimensional significando que a mão teria atingido a parede [Burdea et al. 2003].

Em 1976, Myron Krueger apresentou um sistema interactivo chamado VIDEOPLACE, no qual os utilizadores podiam interagir de forma imediata com imagens computacionais. A imagem do corpo era gravada em tempo real por uma câmara de vídeo sendo projectada num ecrã. No entanto, a aplicação de Myron Krueger ainda não era realidade virtual no seu conceito estrito, assemelhava-se mais a uma projecção virtual, pois o utilizador vê-se projectado numa cena que está a acontecer, ao invés de estar imerso num ambiente virtual [Pimentel et al. 1993].

A realidade virtual nasceu oficialmente com a popularização do *Head-Mounted Display* (HMD), por Jaron Lanier. Isso porque este dispositivo foi o primeiro a utilizar a visão estereoscópica, dando uma maior sensação de profundidade, conjuntamente com o *tracking* dos movimentos da cabeça do utilizador, possibilitando assim, uma maior sensação de imersão.

No entanto, somente nos anos 80 é que as realidades virtual e aumentada começaram a ser mais difundidas, começaram a ter um maior apoio das universidades e investimento das grandes indústrias para o desenvolvimento e aperfeiçoamento das tecnologias de *software*, *hardware* e dispositivos de entrada e saída. A principal indústria interessada foi a indústria militar, que, nos anos 70 e 80, começou a utilizar os simuladores para treino em condições adversas ou difíceis de recriar, como por exemplo o treino de astronautas ou pilotos. Em 1981, a NASA (*National Aeronautics and Space Agency*) lançou o projecto VIVED (*Virtual Visual Environment Display*) que criou o primeiro HMD com um ecrã de cristal

líquido (LCD). Depois disso, foi incorporado no sistema um computador, dando assim origem ao primeiro sistema de realidade virtual. Até essa época a realidade virtual era baseada em simuladores, que consistiam num *hardware* projectado para um tipo de avião em particular, se outro mais avançado surgisse, este era descartado, sendo necessário projectar outro simulador completo de acordo com o novo avião [Burdea et al. 2003]. Em 1985, Thomas Zimmerman e Jaron Lanier fundaram a VPL Research, desenvolvendo as *datagloves* que foram incorporadas no projecto VIVED e, em 1988, Scott Fisher e Elizabeth Wenzel criaram o primeiro *hardware* capaz de processar sons, simulando assim a localização espacial do som em ambientes virtuais.

Em Montpellier, França, em 1992, foi realizada a primeira conferência internacional sobre realidade virtual, cujo nome foi *Interfaces for Real and Virtual Worlds*, que proporcionou o intercâmbio de diversos trabalhos e o aparecimento de empresas interessadas nesta área. Nesse mesmo ano, nos Estados Unidos da América, foi organizada a primeira conferência de Medicina em que o tema principal era a possibilidade de utilização da realidade virtual como auxílio médico e, em 1993, o IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) organizou a primeira conferência de Realidade Virtual [Burdea et al. 2003]. Nesta mesma década, várias conferências sobre realidade aumentada foram também realizadas, incluindo *International Workshop and Symposium on Augmented Reality*, *The International Symposium on Mixed Reality* e *The Designing Augmented Reality Environment Workshop*. Além disso, uma ferramenta de construção de aplicações de realidade aumentada (*ARToolkit*) foi disponibilizada livremente ao público [Burdea et al. 2003].

Em termos industriais, as primeiras empresas a comercializarem produtos relacionados com a realidade virtual e aumentada eram pequenas e de capital próprio, como foi o caso da VPL Inc., pertencente a Jaron Lanier. Depois a empresa de jogos Nintendo, modificou as *datagloves*, desenvolvendo uma luva muito mais barata, que utilizava sensores ultra-sónicos para medir a posição da mão relativamente ao ecrã do computador. Com isso, em 1989, quase 1 milhão de jogos foram vendidos, sendo este número somente ultrapassado, nos dias de hoje, pela *Play Station* da Sony. Outra empresa da época era a inglesa Division Ltd., que introduziu no mercado a primeira estação integrada de realidade virtual, chamada *Vision* e depois a *Provision* 100, que continha processadores múltiplos, HMD, som 3D, dispositivos de *tracking* das mãos e reconhecimento dos gestos. Uma vez que tais dispositivos eram extremamente caros e a produção era pequena, os únicos consumidores

possíveis eram grandes empresas, governos e grandes universidades, sendo esta a razão da falência de muitas das empresas que desenvolveram sistemas de realidade virtual e aumentada. Além disso, o mercado era complicado, tornando difícil a sobrevivência dessas empresas pioneiras. Para agravar a situação, as expectativas do público eram acima do possível para a época, não havia assistência técnica, nem a possibilidade de melhorar os equipamentos. Outra agravante para a situação do mercado da realidade virtual e aumentada, foi o aparecimento da *Web* nos anos 90, que desviou toda a atenção do público para a nova sensação do momento, reduzindo, assim, o investimento e interesse na realidade virtual e aumentada. No entanto, um ponto positivo foi o desenvolvimento muito rápido da tecnologia, o que disponibilizou processadores mais rápidos, com melhores desempenhos gráficos, HMDs mais leves e com melhor resolução, tudo isso acompanhado por uma redução dos preços que proporcionou um maior número de utilizadores [Burdea et al. 2003].

Quanto a aplicações comerciais da realidade aumentada, nos anos 90, muitos estudos foram realizados nesta área, mas poucos foram concretizados, isto porque a tecnologia ainda necessitava se desenvolver mais [Azuma et al. 1997]. Actualmente, a realidade aumentada é muito utilizada na televisão para "enriquecer" eventos desportivos, bem como para a inserção de publicidade. Além disso, muitos jogos utilizam o princípio de "virtualidade" aumentada (realidade mista), a imagem do corpo é gravada em tempo real por uma câmara de vídeo e projectada no ecrã de uma televisão, permitindo jogar *voley*, dançar ou acender luzes.

A tecnologia de realidade virtual e aumentada ganhou alguma maturidade e já existem indústrias que a aplicam regularmente em treino, teste de protótipos, saúde e segurança. Por exemplo, Peter Zimmermann, integrante do grupo de pesquisa da Wolkswagem AG, afirma que a realidade virtual e aumentada desempenham um papel importante no desenvolvimento dos automóveis e no processo dos produtos, uma vez que disponibilizam visualizações de alta qualidade e em tempo real. A possibilidade de desenvolver e testar protótipos em ambientes virtuais, não sendo necessários modelos físicos, torna o trabalho de desenvolvimento mais rápido e reduz custos [Zimmermann 2006]. Enrico Gaia, da Alcatel Alenia Space Itália, afirma que a empresa utiliza a tecnologia de realidade virtual e aumentada nas actividades de Projecto, Desenvolvimento e Treino. Assegura ainda que este tipo de tecnologia facilita a compreensão e melhoria do produto, auxiliando assim o processo de decisão. No entanto existem ainda limitações que necessitam ser ultrapassadas

[Gaia 2006]. Outra empresa que aplica esse tipo de tecnologia no desenvolvimento de operações complexas de manutenção é a Electricité de França. Guillaume Thibault afirma que, com a utilização da tecnologia de realidade virtual e aumentada, a empresa reduziu custos sendo as soluções alcançadas em tempos menores quando comparados com os métodos antigos [Thibault 2006].

2.6 Principais Tecnologias Usadas

A tecnologia actualiza-se com muita rapidez, seria portanto uma audácia tentar englobar todos os aspectos e dispositivos existentes no mercado. Assim, pretende-se aqui fazer uma apresentação das principais tecnologias aplicadas na criação e produção dos ambientes de realidade virtual e aumentada. Uma vez que necessitam de dispositivos especiais de entrada e saída que manipulam os sentidos dos utilizadores, abstraindo-os do ambiente real e possibilitando-lhes interagir com ambientes artificiais como se fossem reais, além da exploração directa e manipulação natural dos objectos.

De acordo com Grigore Burdea [Burdea et al. 2003], um sistema de realidade virtual consiste no mínimo, em um utilizador, uma tarefa, dispositivos de entrada e saída, um processador e uma base de dados para simular os ambientes. O processador é o sistema que contém a base de dados relativa ao mundo virtual, ou seja, contém a descrição física dos objectos, conjuntamente com as possibilidades de movimentos, comportamentos e efeitos de colisão, o que permite ao utilizador ter a impressão de estar imerso e interagindo no mundo virtual.

Quanto aos dispositivos de entrada, de acordo com Bernd Frohlich [Frohlich et al. 2006] é difícil encontrar um único dispositivo de entrada 3D que seja universal e que tenha bom desempenho em todas as aplicações, isso porque as tarefas são diferentes umas das outras, o que exige dispositivos e técnicas de interacção distintos. Um dos principais factores no desenvolvimento de um dispositivo de entrada é a compatibilidade entre a disponibilidade dos graus de liberdade e as necessidades da tarefa. A expressão grau de liberdade (DOF – *Degree of Freedom*) é utilizada para descrever o número de direcções em que o sistema pode mover-se.

Bernd Frohlich [Frohlich et al. 2006] considera que, para o desenvolvimento de uma interface para ambientes 3D, é necessário considerar os seguintes aspectos:

1. Observação das interacções humanas com o mundo real

   Os gestos, percepção, cognição e controle motor são interacções humanas que, em ambientes 3D, podem ser classificados como:

   - Navegação: Observar o modelo de diferentes pontos de vista e mover-se através do ambiente;
   - Selecção: Escolher um ou mais objectos;
   - Manipulação: Mudar a posição ou orientação do modelo virtual, como também a cor e a escala;
   - Sistema de controlo: Administração da aplicação;

2. Desenvolvimento de sensores, interfaces e dispositivos de entrada

   Os sensores são os componentes mais importantes dos dispositivos de entrada. Uma das formas de desenvolvimento da tecnologia de *tracking* é através da combinação ergonómica de diferentes sensores, sendo vasto o número das possíveis combinações.
   Os tipos de sensores mais comuns são os sensores isotónicos, elásticos e isométricos. Apresentam-se na tabela 2-4 as propriedades mais relevantes e um exemplo de dispositivo de entrada associado a cada tipo de sensor.

Sensores Isotónicos	Permitem a navegação e requerem força constante. Um exemplo de dispositivo de entrada isotónico é o rato;
Sensores Elásticos	Permitem alguma navegação e disponibilizam forças contrárias. Um exemplo de dispositivo de entrada elástico é o *joystick*;
Sensores Isométricos	Medem a força e torção, mas não permitem navegação. O *SpaceBall* da *3Dconnexion's* utiliza sensores isométricos.

Tabela 2-4: Tipos de Sensores. Fonte: [Frohlich et al. 2006].

3. Desenvolvimento de funções de transferência

   As funções de transferência têm a capacidade de medir os sinais dos sensores e transformá-los em interacções numa aplicação. As duas principais categorias de funções de transferência são apresentadas na tabela 2-5.

Controlo de Posição	- Controla através da posição dos objectos. Os sensores captam as diferentes posições dos objectos e convertem os sinais em movimentos do objecto gráfico; - Não é linear e depende da velocidade do sensor; - Resulta melhor com sensores isotónicos; - Melhor para pequenas distâncias e para utilizadores menos experientes;
Rate Control	- Os sinais dos sensores são convertidos na velocidade dos objectos gráficos; - Resulta melhor com sensores elásticos e isométricos; - Melhor para grandes distâncias;

Tabela 2-5: Funções de Transferência. Fonte: [Frohlich et al. 2006]

4. Avaliação da Usabilidade

Através da avaliação é possível conhecer os pontos fortes e fracos da aplicação, para assim, determinar objectivos futuros a serem desenvolvidos.

2.6.1 Tecnologias de *Tracking*

Os *trackers* são uma das principais ferramentas de medida das variações das posições e orientações dos utilizadores e dos objectos 3D em relação a um ponto ou estado de referência em tempo real. Disponibilizando tais informações para o processador, que irá consultar a base de dados e enviar uma actualização do sistema.
De acordo com Foxlin [Foxlin 2002], existem 6 parâmetros que podem influenciar o desempenho dos *trackers* e consequentemente a percepção humana sobre o ambiente virtual, são estes:

- Distorção espacial (*Spatial Distortion*) – Acumulação dos erros do tempo médio da saída da informação nas suas diferentes posições, o que causa um desalinhamento e distorção.
- *Jitter* – Variações na informação de saída do *tracker*, podem causar a sensação de que as imagens projectadas estão tremidas, mesmo estando o *tracker* parado;

- Estabilidade (*Stability or Creep*) – Variações pequenas e lentas na informação de saída do *tracker* (*tracker output*), podem alterar a verdadeira posição de saída (*output position*) do objecto seguido, que na realidade está parado;
- Latência (*Latency*) – Diferença temporal entre a detecção da ocorrência do evento e a sua apresentação;
- *Latency jitter* – Qualquer variação que aconteça de ciclo para ciclo na latência, ou seja, se houver variação os movimentos serão representados por múltiplas imagens ao longo da direcção na nova posição;
- Erro dinâmico (*Dynamic Error*) – Qualquer erro adicional do sensor que não seja nenhum dos descritos acima.

Outra forma de determinar o desempenho dos dispositivos é através da frequência da taxa de actualizações, que é recomendada que seja sempre maior que 25 a 30Hz, porque acima destes valores os movimentos são vistos de forma contínua. No entanto, também é possível trabalhar a uma taxa mais baixa, até 10Hz, sem perder completamente a sensação de imersão, contudo a interacção fica prejudicada, já que a capacidade de resposta do ambiente simulado é menor [Karaseitanidis et al. 2006]. Quanto à precisão do sistema de realidade virtual, esta depende da aplicação, ou seja, para a medicina é necessário uma alta precisão, não sendo necessária tanta precisão para a arquitectura.

Tipos de *Trackers*

Ainda de acordo com o estudo [Karaseitanidis et al. 2006] sobre as tendências da tecnologia de *tracking* nos ambientes virtuais, os *trackers* podem ser:

- **Mecânicos** – Foram os primeiros a serem utilizados nas simulações de realidade virtual, como os braços mecânicos do HMD de Ivan Sutherland. Apesar de terem sido pioneiros, ainda são aplicados e são provavelmente a técnica de *tracking* mais eficiente até hoje. São rápidos, precisos no cálculo da posição de um único ponto no alvo, não necessitam de ser calibrados, no entanto restringem os movimentos por exigirem que o objecto seguido esteja ligado mecanicamente a uma posição fixa. Além disso, os equipamentos são grandes, pesados, não são portáteis e têm elevado custo de aquisição.
- **Magnéticos** – São compostos por um emissor e três receptores dispostos perpendicularmente entre si. Estes são robustos, não necessitam de linha de vista

(*line of sight*), têm uma boa taxa de actualização, são mais baratos que outros aplicados à realidade virtual. No entanto, apresentam distorções com objectos metálicos, bem como com paredes e chão de betão, são sensíveis a tudo que produza ondas electromagnéticas (ex. transformadores) e a precisão diminui com o aumento da distância ao objecto alvo.

- **Acústicos** – Requerem pelo menos três transmissores e um receptor ou três receptores e um transmissor para determinarem as coordenadas da posição. Esta é calculada através da medida do tempo de voo (TOF - *time-of-flight*) do sinal ultra-sónico que foi enviado até ao receptor. O sistema detecta a fase de chegada do sinal e compara com valores relativos dos sinais emitidos, para assim calcular a distância entre o receptor e o transmissor. Os problemas relacionados com os sistemas acústicos são a necessidade da linha de vista, a dependência da direcção dos receptores, interferência com ruídos exteriores e a sua pequena capacidade de volumes de trabalhos, porém são simples, eficientes e têm baixo preço. Em ambientes virtuais, geralmente, são utilizados em conjunto com outro sistema de *tracking*, pois estes necessitam ser complementados para garantir um bom desempenho.
- **Ópticos** – Podem ter dois tipos de desempenho: o *inside-out*, em que a câmara se move e a sua posição é definida ao identificar os marcadores, e o *outside-in*, em que múltiplas câmaras fixas observam os marcadores e, através da triangulação, determinam as posições. Estes marcadores podem ser passivos ou activos, os primeiros reflectem a luz (geralmente feixes infra-vermelho) enviada pela câmara, sendo geralmente esferas ou círculos retro-reflectores, enquanto que os marcadores activos utilizam LEDs que emitem feixes de luz directamente para a câmara. Os marcadores passivos não contêm partes electrónicas ou móveis, o que os torna leves, robustos e mais baratos, além de não necessitarem de fios. Porém, as câmaras são caras e requerem linha de vista para pelo menos duas câmaras ao mesmo tempo. Os sistemas *inside-out* são mais utilizados nos ambientes de realidade aumentada, uma vez que são simples de navegar em espaços pequenos. Já os sistemas *outside-in* podem ser usadas em grandes áreas uma vez que utilizam mais de uma câmara e podem alcançar alta precisão com baixa distorção.

  De acordo com o estudo [Smit et al. 2006], os sistemas ópticos enfrentam três problemas:

a) A correspondência dos pontos: os pontos detectados nas imagens 2D devem sobrepor-se aos pontos correspondentes dos modelos 3D;
b) Perspectivas de n-pontos: a posição 3D das imagens dos pontos deve ser determinada, resultando numa "nuvem" de pontos 3D;
c) A transformação da "nuvem" de pontos 3D detectada, para o modelo de pontos 3D correspondente, através de técnicas de enquadramento (*fitting*).

- **Inerciais** – Medem a inércia através de giroscópios e acelerómetros, que calculam respectivamente a orientação e posição dos utilizadores. O maior problema destes sistemas deve-se ao facto das medidas serem cumulativas, o que significa que também acumulam erros. Outra agravante é que os acelerómetros não interpretam bem os movimentos bruscos, gerando erros que ficam acumulados, resultando, assim, numa baixa precisão. No entanto, os sistemas baseados em inércia não necessitam de linha de vista, não têm problemas com interferências, não são muito caros, nem necessitam de transmissores. Devido à acumulação de erros, este tipo de sistema requer ser constantemente calibrado, não sendo geralmente utilizado sozinho, mas sim conjuntamente com outros sistemas, em sistemas híbridos.
- **Híbridos** – Combinam dois ou mais sistemas de *tracking* com o intuito de diminuir os pontos fracos e beneficiar das vantagens que cada um tem. As combinações mais comuns são sensores baseados na inércia com sensores acústicos ou ópticos. Os problemas destes dispositivos surgem quando o sistema de maior precisão, seja o sistema acústico seja o óptico, não está a funcionar por um longo período de tempo. [Fischer et al. 2006a].

A tabela 2-6 mostra alguns exemplos de tecnologia de *tracking*.

Tecnologia	Vantagem	Desvantagem
Magnético Fastrak, Polhemus www.polhemus.com/fastrak.htm	• Boa precisão para pequenos volumes de trabalho; • Baixo custo; • Robustez; • Alta taxa de actualizações; • Não necessita de linha de vista.	• Precisão diminui com a distância; • Distorção com objectos metálicos, paredes e chão de betão; • Distorção com tudo que produz ondas magnéticas.

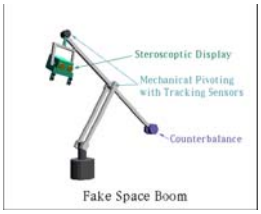
Óptico Finger Tracking Prototype, A.R.T GmbH www.ar-tracking.de	• Alta precisão; • Objectos seguidos passivamente não têm cabos e pesam menos; • Baixa interferência.	• Requer linha de vista pelo menos para duas câmaras (reduzido por múltiplas câmaras); • Alto custo de aquisição;
Acústico 3D Mouse e Head Tracker, Logitech http://www.vrdepot.com/vrteclg.htm	• Baixo custo de aquisição; • Boa resposta em distância curtas; • Simples.	• Necessita linha de vista; • Interferência de ruídos sonoros; • Baixa taxa de dados; • São necessários cabos para seguir os objectos.
Inercial InertiaCube3, InterSense www.intersense.com/products	• Alta precisão para pequenos períodos; • Baixo custo de aquisição; • Não necessita linha de vista; • Não sofre interferências; • Não necessita de transmissores.	• Baixa velocidade de movimentação dos objectos; • Necessita calibrar frequentemente; • Acumula erros.
Mecânico  Boom, Fake Space www.fakespace.com	• Alta precisão; • Baixo custo de aquisição.	• Os objectos seguidos necessitam de cabos; • Equipamento grande, pesado e difícil de deslocar; • Pequeno volume de trabalho.
Híbrido Inércia+acústico InterSense IS-900 Precison Motion www.5dt.com/products/pis900.html	• Alta precisão; • Continua a seguir mesmo que a linha de vista esteja obstruída.	• Os objectos seguidos são activos: com receptores e baterias; • São lentos pela junção dos sensores; • Alto custo de aquisição.

Tabela 2-6: Alguns exemplos de tecnologias de *tracking*: vantagens e desvantagens. Fonte: [Karaseitanidis et al. 2006].

Apesar de existirem muitos projectos em curso, ainda é necessário o aperfeiçoamento de sistemas de *tracking* específicos para grandes áreas. De facto ainda não existem dispositivos que funcionem de forma robusta, com boa relação custo eficiência e em áreas de operação superiores a 10m². É possível cobrir áreas maiores que estas somente multiplicando o número de câmaras ou sensores, pelo que no futuro será necessária a criação de produtos específicos. Actualmente, existem dois conceitos diferentes para as grandes áreas: a solução híbrida, que combina sensores ópticos com sensores baseados em inércia, e a solução descentralizada que decompõe o sistema de *tracking* em vários subsistemas. A interacção entre o utilizador, o objecto virtual e a colaboração entre utilizadores também necessitam de ser aperfeiçoados. Deverão ser mais naturais, possibilitando mais do que seleccionar e agarrar um objecto, devendo também ser mais intuitivos e idealizados para mais do que um utilizador.

Não existe um único dispositivo que sirva para todas as aplicações de realidade virtual, todos os sistemas de *tracking* têm as suas vantagens e desvantagens, logo, antes de escolher o sistema a ser utilizado para uma aplicação específica, devem-se observar os requisitos de precisão, resolução, volume de trabalho, nível de latência e preço.

2.6.2 Outros Dispositivos de Entrada

Os dispositivos de entrada são aqueles que captam a informação do exterior, transferem-na para os processadores, permitindo a actualização da saída, através da movimentação e interacção do utilizador com o mundo virtual.

Existem diversos tipos de dispositivos de entrada para ambientes virtuais. Os dispositivos de reconhecimento de voz são um exemplo, podem facilitar a execução das tarefas em ambientes virtuais, principalmente quando as mãos estão ocupadas, porém requerem treino, são ineficientes para entrada de textos e sofrem interferência de ruídos externos.

Uma das principais dificuldades dos ambientes imersivos de realidade virtual é a entrada de texto, isto porque nem sempre os utilizadores podem ver o mundo real, as mãos podem estar ocupadas com outros dispositivos e muitas vezes não têm um apoio físico (ex. mesa) disponível. No entanto, a entrada de texto nestes ambientes também é necessária, como por exemplo para fazer anotações e atribuir nomes aos arquivos. É por esta razão que existem estudos para desenvolver teclados virtuais, os teclados por acordes (*chorded keyboards*, ver figura 2-9), sistemas de canetas e mesas e várias *data gloves*, que podem ser usadas com diferentes técnicas gestuais [McCaul et al. 2004] [Kolsch et al. 2002].

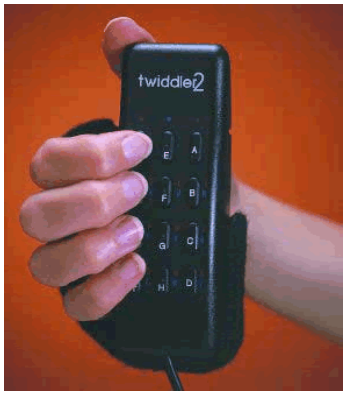


Figura 2-9: *Chorded Keyboard*. Fonte: http://www.handkey.com/site/twiddler2.html

As *data gloves* são dispositivos que detectam e medem a posição através de sensores, flexão e abdução dos dedos e algumas vezes do pulso, com o intuito de permitir uma interacção mais natural com o ambiente virtual. Representam um grande avanço no que diz respeito a interacção natural com o computador, porém têm custos muito elevados, a sua utilização é complexa exigindo o conhecimento de diversas possibilidades de uso e, por vezes, não são ajustáveis a diferentes mãos.

Na tabela 2-7 mostram-se alguns exemplos de dispositivos de entrada de texto:

Pinch Glove (Fakespace) e Pinch Keyboard www.fakespace.com	Pinch Glove tem uma vantagem em comparação às demais, não necessita ser ajustada de um utilizador para o outro, pois é composta por fios condutores na parte de fora dos dedos e palma da mão, é leve e confortável de usar. Pinch Keyboard é uma técnica de entrada de texto para ambientes virtuais, desenvolvida por Doug Bowman [Bowman et al. 2001]. Esta permite ao utilizador seleccionar letras individuais no teclado virtual QWERTY, trabalhando conjuntamente com a Pinch Glove;
VType Fonte: [Kolsch et al. 2002]	Detecta cada dedo no ar com o auxílio da *data glove* e utiliza um teclado virtual diferente com um dicionário para ajudar a predizer o que o utilizador pretende [Kolsch et a.l 2002];

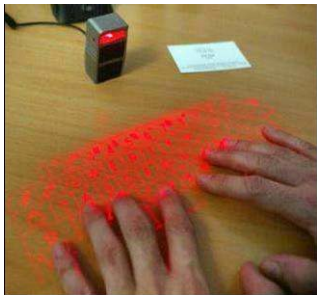
5DT dataglove (Fifth Dimension Technology) www.5dt.com	Combinação entre Pinch Keyboard e VType, apresenta o dicionário para predizer palavras, o teclado graficamente representado e técnicas de interacção intuitivas. Tem a vantagem de utilizar fibras ópticas, o que a torna mais compacta e leve, além de ser mais confortável que as outras. Actualmente são as luvas mais populares;
Thumbcode Fonte: [Kolsch et al. 2002]	Tem 12 botões, três em cada dedo, o polegar pressiona as falanges dos outros dedos da mesma mão de oito maneiras diferentes. [Kolsch et al. 2002];
Multi-Point Touchpad Fonte: [Kolsch et al. 2002]	Permite a interacção e coordenação de mais de um ponto ao mesmo tempo, numa mesma superfície de contacto. Para cada dedo são medidos a posição, velocidade e área de contacto [Moscovich et al. 2006].
I-Tech Virtual Laser Keyboard  www.virtual-laser-keyboard.com/	Este é um teclado virtual que projecta a imagem de um teclado QWERTY numa superfície plana. Utiliza câmaras de infravermelho e tecnologia óptica para detectar o “teclar” do utilizador nas imagens.

Tabela 2-7: Exemplos de dispositivos de entrada de texto.

Além dos dispositivos de entrada de texto, também existem os de entrada de dados, como os *trackballs* e ratos, que auxiliam na navegação e manipulação; são simples, compactos, estacionários (não necessitam de muito espaço), mas limitam os movimentos das mãos a uma determinada área e são menos intuitivos (ver tabela 2-8).

SpaceTraveler www.5dt.com/hardware.html	É compacto, com alto desempenho no controlo de movimentos, tem um sistema óptico, 8 botões programáveis iluminados e 6 graus de liberdade.
Gyropoint Mouse www.saintmarys.edu/~itrc/gyropointmouse.html	É um rato que pode trabalhar tanto sobre a mesa quanto no ar, mede o movimento do pulso. A comunicação com o computador é feita via rádio, logo não é necessário apontar para um alvo específico.
SpaceBall 500 www.5dt.com/hardware.html	Tem alta precisão, é confortável, eficiente, tem controlo óptico e os sensores não necessitam de calibração. O utilizador pode usá-lo intuitivamente para posicionar, ver e navegar em modelos 3D, empurrando, puxando ou torcendo a esfera.
SpaceMouse www.5dt.com/hardware.html	É um dispositivo especializado para *design* industrial e visualização em aplicações de simulação. Permite interacção intuitiva e precisa em 6 graus de liberdade com objectos gráficos 3D.

Tabela 2-8: Outros exemplos de dispositivos de entrada.

2.6.3 Dispositivos de Saída

Os dispositivos de saída permitem diversas formas de apresentação da realidade virtual. Estimulam principalmente a visão e a audição, no entanto o tacto também começa a ser explorado [Bowman et al. 2001a].

A tecnologia dos ecrãs tem evoluído juntamente com os televisores, projectores e tecnologias LCD. Na realidade virtual os dispositivos mais comuns são os *head-mounted displays* (HMD), *Cave Automatic Virtual Environment* (CAVE), projectores panorâmicos e mesas virtuais [Brooks 1999]. Estes dispositivos podem mostrar imagens estereoscópicas ou monoscópicas, sendo que, no primeiro caso, cada olho observa uma imagem ligeiramente diferente; no segundo, somente uma única imagem é exibida para ambos os olhos.

HMD ou vídeo-capacete (*Head-Mounted Display*)

É um sistema óptico, com formato de óculos (fonte de imagem LCD ou TFT) que, com o auxílio de sensores, monitoriza as posições e movimentos da cabeça e algumas vezes dos olhos e pode ser opaco ou translúcido (substituindo ou complementando a realidade objectiva respectivamente). O HMD pode ser binocular, aquele que disponibiliza uma imagem para ambos os olhos, ou estereoscópico, tem imagens diferentes para cada olho. Quando o campo de visão é pequeno assemelha-se a um "túnel", proporcionando menos imersão no ambiente criado, enquanto um grande campo de visão pode diminuir a resolução, distorcendo as imagens. No entanto, algumas das suas desvantagens estão relacionadas com a necessidade de ajuste às diferentes cabeças, peso, desconforto e higiene [Bowman et al. 2001a] (ver figura 2-10).

Figura 2-10: Exemplo de diferentes HMDs. Fonte: www.stereo3d.com/hmd.htm

***Head-Coupled Display* ou BOOM (*Binocular Omni-Oriented Monitor*)**

Consiste num dispositivo suspenso por um braço mecânico com sensores que permitem movimentos em até 6 graus de liberdade (Ver figura 2-11). O seu formato permite a interacção com teclados e ratos.

Figura 2-11: Sistema *BOOM, Fakespace Pinch* (*dual* CRT, 1280x1024). Fonte: www.stereo3d.com/

Existem também os sistemas de realidade virtual em que as imagens são exibidas em monitores ou sistemas de projecção. Geralmente utilizam *shutter glasses* (ver figura 2-12) para filtrar as imagens duplas, ou seja, o computador mostra a imagem da direita e da esquerda alternadamente sincronizadas com o bloqueio e desbloqueio de cada um dos olhos, permitindo que o utilizador tenha uma maior noção de profundidade. Outra técnica utiliza filtros coloridos, sendo as imagens exibidas em cores complementares como por exemplo vermelho e azul, tendo os óculos a mesma correspondência de cores, o que permite que cada olho veja a respectiva imagem. Um problema associado a esta técnica é o cansaço provocado por esses óculos e a restrição em ter que utilizar monitores coloridos, no entanto possibilitam vários participantes ao mesmo tempo.

Figura 2-12: Exemplo de *Shutter Glasses*. Fonte: www.stereo3d.com/shutter.htm

CAVE ou caverna (*Cave Automatic Virtual Environments*)

Foi desenvolvida na Universidade de Illinois, Chicago, para inovar o conceito de interfaces de sistemas de realidade virtual. Consiste numa sala, em que são projectadas imagens de alta resolução nas paredes, chão e até no tecto (ver figura 2-13), o que proporciona a imersão de um ou mais utilizadores ao mesmo tempo. A projecção das imagens é realizada por projectores que estão localizados na parte posterior da tela. Pode-se usar visão estereoscópica através da utilização dos óculos, como também incorporar projecção acústica, dispositivos de *tracking* de posição e interacção. [Bowman et al. 2001a].

O sistema de *tracking* pode ser focado num líder, o que possibilita aos outros participantes moverem-se naturalmente sem as limitações do HMD, ficando, assim, as imagens disponíveis para serem examinadas e discutidas por qualquer um, a qualquer momento. Além disso, o corpo não está em contacto com nada.

Figura 2-13: Utilizador "dentro" do sistema CAVE. Fonte: [Bowman et al 2001a].

VRD (*Virtual Retinal Display*)

Neste dispositivo as imagens são projectadas directamente na retina do olho ao invés de um monitor (ver figura 2-14). As imagens produzidas são de alta resolução e não apresentam distorção. Este dispositivo consome pouca energia, disponibiliza um campo de visão maior que os outros dispositivos, além de apresentar vantagens ergonómicas [Pryor et al. 1998].

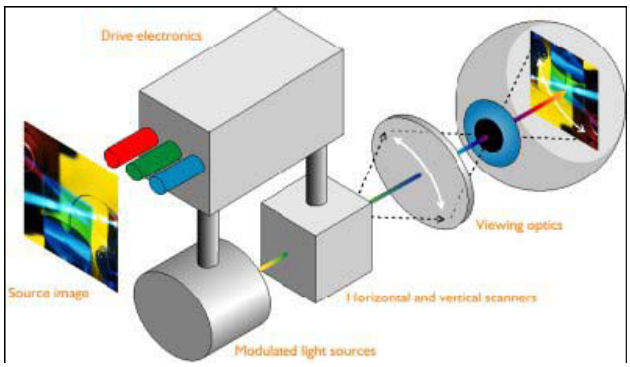


Figura 2-14: Sistema *Virtual Retinal Display*.
Fonte: http://www.hitl.washington.edu/projects/vrd/

As principais características do VRD são apresentadas na tabela 2-9.

Resolução	Produz imagens com alta resolução que não são afectadas pelo pequeno tamanho da projecção, mas são limitadas pela difracção e erros ópticos na fonte de luz.
Contraste	O brilho pode ser aumentado ou diminuído, possui tecnologia melhor que os monitores tradicionais.
Luminosidade	Geralmente os ecrãs electrónicos convencionais são utilizados em ambientes de luz controlada e são difíceis de ver em ambientes muito claros, no entanto o VRD pode ser controlado para permitir que o utilizador veja uma imagem em condições normais de luz.
Cores	Consegue emitir uma cor pura, altamente saturada, porque utiliza fontes de luz vermelha, verde e azul.
Consumo de Potência	Tem um bom rendimento, pois converte virtualmente toda a luz gerada para a retina, permitindo brilho com o mínimo de potência requerida.
Custos	Os especialistas acreditam que será uma tecnologia de massa e produzida a um baixo custo, uma vez que VRD é constituído por subsistemas simples.

Tabela 2-9: Principais características da tecnologia VRD. Fonte: [Pryor et al. 1998].

Dispositivos de interacção táctil ou reacção táctil *(haptic devices)*

Proporcionam a possibilidade de tocar e sentir. Esta tecnologia é muito importante para acrescentar realismo ao ambiente virtual, uma vez que permite a utilização de *force-feedback* (força correspondente à resposta da acção humana sobre o sistema, interacção bi-direccional), bem como *vibro tactile* e *thermal feedback* (ambos monodireccionais). A diferença entre interacção bi-direccional e monodireccional consiste no facto de, na primeira situação, o utilizador fazer força de um lado e o dispositivo responder com uma força contrária, enquanto que na segunda situação o dispositivo é o único a enviar respostas [Perret 2006].

Diferentemente dos dispositivos de saída de visão e audição, estes aplicados a sistemas de realidade virtual requerem uma sofisticada interacção electromecânica com o utilizador, ou seja, sistemas computacionais potentes e dispositivos de entrada e saída específicos.

Figura 2-15: Rato reactivo da Logitech – *WingMan Mouse*. Fonte: www.logitech.com

O uso do tacto, *force feedback* e *vibro-tactile*, não está limitado à realidade virtual, também é utilizado em outros sistemas, tal como *video games*, através dos *joysticks* e *game pads*, telerobótica (telecirurgia, teleoperação), teclado para deficientes visuais, rato reactivo (ver figura 2-15), telefones móveis e controle electrónico de automóveis e aviões. No entanto, de acordo com Jerome Perret [Perret 2006], no caso da aplicação em ambientes de realidade virtual, podem-se distinguir três categorias de dispositivos tácteis:

- Monitores portáteis vibro-táctil (*Portable (wearable) vibro-tactile displays*)
- Interfaces portáteis de resposta de força (*Portable (wearable) force-feedback interfaces*)
- Dispositivos de resposta de força (*Grounded force-feedback devices*)

Dentre as três categorias, a última foi a única que alcançou uma maturidade que permite o desenvolvimento comercial de aplicações, estando as outras duas ainda em fase de desenvolvimento. Os dispositivos de resposta de força (*grounded force-feedback*) podem ser divididos em mais três grupos:

- Dispositivos robôs – são estruturas electromecânicas, fáceis de usar, não muito intrusivas, mas cuja área de trabalho é limitada podendo a sua interacção ser difícil dentro de um ambiente imersivo.
- Sistemas baseados em tendões – são sistemas que têm sido utilizados há mais de 50 anos, utilizam componentes unidimensionais de transmissão (cabos, fios), disponibilizam uma área maior de trabalho, são fáceis de usar e de integrar em ambientes imersivos, porém são muito intrusivos.
- Exoesqueletos – são estruturas electromecânicas que imitam, por exemplo, um braço humano, estando posicionadas ao lado do corpo do utilizador. São muito intrusivas, a área de trabalho é limitada e são difíceis de integrar em sistemas imersivos.

Jerome Perret [Perret 2006] afirma também que uma das maiores dificuldades da incorporação dos dispositivos tácteis de resposta de força (*force-feedback*) em ambientes virtuais é consequência da característica de serem bi-direccionais, pois isso exige cálculos a uma taxa muito alta (1000Hz), já que as forças de contacto são dependentes dos movimentos do utilizador, o que implica que todo o processo de detectar, gerar forças de repulsão e resolver as equações de movimento do objecto simulado devam ser realizadas em fracções de segundo.

Apesar das dificuldades, está é uma área de interesse em expansão, isto porque é uma modalidade intuitiva, que traz realismo à simulação através da diminuição da complexidade da interacção com o mundo virtual. As aplicações industriais são, sobretudo, nas áreas de *design* e engenharia, manutenção, treino e ergonomia [Perret 2006].

Um dispositivo táctil muito conhecido, é o *Phantom Desktop* (ver figura 2-16), que foi idealizado para treinar médicos responsáveis pelos transplantes de medula óssea, uma cirurgia complicada, uma vez que o médico não tem acesso visual à região operada.

Figura 2-16: *Phantom Desktop*.
Fonte: http://www.sensable.com/products/phantom_ghost/phantom.asp

Mesa Virtual (*Virtual Table* ou *Tabletop display*)

Consiste numa mesa, que na realidade é uma tela em que as imagens são projectadas, e um *tracker*, geralmente electromagnético com 6 graus de liberdade. Este é usado na determinação da posição e orientação de três receptores, o primeiro é uma câmara responsável pela posição e orientação da cabeça do utilizador, o segundo é uma caneta utilizada para manipular os botões virtuais 3D e outros elementos de interacção e o terceiro é um painel transparente onde são projectados os elementos (ver figura 2-17). As imagens estereoscópicas são vistas através dos óculos estereoscópicos, estas parecem estar sobre a superfície da mesa, como uma maqueta e podem ser vistas por vários utilizadores ao mesmo tempo, apesar de, geralmente, a perspectiva estar correcta para somente um *tracker*.

Este dispositivo tem aplicação na arquitectura, *design* de componentes, análises proteicas e moleculares. [Bowman et al. 2001a]

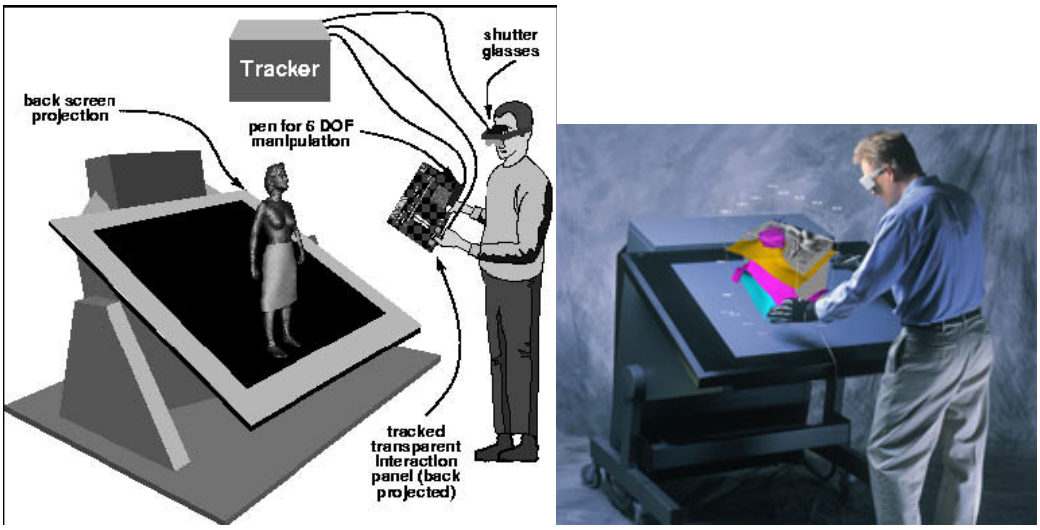


Figura 2-17: M1 *Desk*. Fonte: http://www.fakespacesystems.com/M1Desk.htm

Displays Volumétricos

Proporcionam imagens interactivas de alta qualidade, 360 graus de campo de visão, suportam vários observadores ao mesmo tempo e são autoestereoscópicos (o que significa que não necessitam de HMD ou óculos para proporcionarem visão estereoscópica [Dodgson 2005]). Têm aplicação nas visualizações médicas, planeamento de guerra e modelação molecular.

As imagens são geradas através da projecção de uma sequência de imagens 2D num ecrã de difusão que gira numa mesma direcção. A velocidade de projecção no *Perspecta Display* (ver figura 2-18) é de aproximadamente 6000 imagens por segundo [Favalora 2005].

Figura 2-18*: Display* Volumétrico – *Perspecta Display*. Fonte: [Favalora 2005].

Os dispositivos descritos neste capítulo são os mais usados, no entanto existem muitos outros dispositivos de entrada (ex. sensores de entrada de voz) e saída (ex. monitores hemisféricos, *holobench* e dispositivos auditivos) em estudo para os sistemas de realidade virtual e aumentada. Como esta é uma área em grande expansão, a maior parte dos dispositivos ainda estão em fase de protótipo no âmbito de projectos específicos de universidades ou empresas.

Capítulo 3 USABILIDADE

"Every designer wants to build high-quality interfaces that are admired by colleagues, celebrated by users, and imitated frequently."
[Shneiderman et al. 2005]

3.1 Definição

Um aspecto indispensável para o desenvolvimento de qualquer produto ou sistema é a preocupação em torná-los o mais utilizável possível. Infelizmente, muitos dos sistemas não são pensados para os utilizadores reais, mas sim para cumprir funções, o que do ponto de vista do funcionamento do produto, está perfeitamente bem. Com o intuito de observar melhor as necessidades dos utilizadores, é necessário integrar parâmetros ou métodos que testem e avaliem os sistemas durante todo o seu ciclo de desenvolvimento, bem como, depois de implementado, assegurando, assim, a satisfação da maioria das expectativas dos utilizadores [Preece et al. 2002].

O termo *Usability* não tem uma tradução exacta para o idioma português, mas será referido nesta dissertação como "Usabilidade".

De acordo com o autor Timothy Marsh [Marsh 1999], usabilidade é a capacidade de resolver tarefas de forma eficaz, eficiente e com satisfação. A sua lógica rege-se pelo facto de que, quanto mais pessoas conseguirem realizar os seus objectivos e tarefas e quanto mais satisfeitas elas se sentirem, mais utilizável será considerada a interface de utilizador do produto avaliado. Um alto grau de usabilidade subentende eficiência, eficácia, como também uma grande satisfação por parte do utilizador final.

A norma internacional ISO 9241-11, *Ergonomic Requirements for Office Work with Visual Display Terminal*, também traduz este pensamento: "usabilidade é a medida na qual um produto pode ser usado por utilizadores específicos para alcançar objectivos específicos com eficácia, eficiência e satisfação em um contexto específico de utilização". Em ambos os casos, tanto a norma ISO, quanto Timothy Marsh atribuem uma grande importância à usabilidade, sendo ela responsável por medir a capacidade dos utilizadores de trabalhar de forma eficaz, eficiente e com satisfação.

Existem diversas denominações para usabilidade: Usabilidade Operacional, que se preocupa mais com o desenho gráfico da interface de utilizador, os menus, os ícones, as

metáforas e os movimentos nos mundos virtuais; Usabilidade Física, relacionada com problemas de acomodação da visão (astigmatismo, miopia, hipermetropia) e surdez. Ambos se enquadram no conceito de Engenharia de Usabilidade, que segundo Alan Dix [Dix et al. 2004], tem a sua ênfase no desenho gráfico da interface, porém é depende da interpretação dos conhecimentos dos utilizadores e dos objectivos almejados. Para este mesmo autor, a avaliação da usabilidade de sistemas interactivos não se deve limitar a avaliar somente a interface física do sistema, deve também abranger todos os requisitos de funcionamento do sistema e as capacidades cognitivas e físicas dos utilizadores.

Os autores Jakob Nielsen e Robert L. Mack [Mack et al. 1994] afirmam que a inspecção de usabilidade é um termo genérico que engloba todos os outros métodos de engenharia de usabilidade. A inspecção de usabilidade reúne um conjunto de métodos que têm objectivos ligeiramente diferentes, cabendo ao avaliador escolher aquele que melhor se adequa ao tipo de avaliação a ser realizada, ou seja, aquele que melhor examina os aspectos de usabilidade da interface proposta. Uma vez que a avaliação é baseada na(s) opinião(ões) do(s) analista(s), esta é dependente do método e critérios individuais utilizados pelo(s) mesmo(s), sendo portanto subjectiva.

Jakob Nielsen [Nielsen 1993] afirma também que a usabilidade pode ser aplicada a todos os sistemas que interajam com o ser humano, ou seja, todos aqueles que tenham uma interface humano-computador. Para este autor o conceito de usabilidade está englobado no conceito de aceitabilidade. Enquanto a primeira mede a satisfação que os utilizadores podem ter ao utilizar o sistema analisado, a aceitabilidade preocupa-se em tornar o sistema admissível prática e socialmente. Ser aceitável praticamente refere-se tanto aos custos e suporte técnico, quanto a ser um sistema possível de utilizar para alcançar determinado objectivo (*Usefulness*). *Usefulness* pode ser dividido em usabilidade e utilidade, sendo esta última relacionada com funcionalidade (ver figura 3-1).

Mark Scerbo [Scerbo 1995] e Jakob Nielsen têm a mesma opinião quando se referem à diferença entre o conceito de usabilidade e de funcionalidade. Este último relaciona-se com ser funcional, ou seja, o que o produto permite fazer, enquanto que a usabilidade de um produto preocupa-se em como a funcionalidade pode ser implementada e melhor utilizada, procurando a facilidade de utilização de uma interface humano-computador.

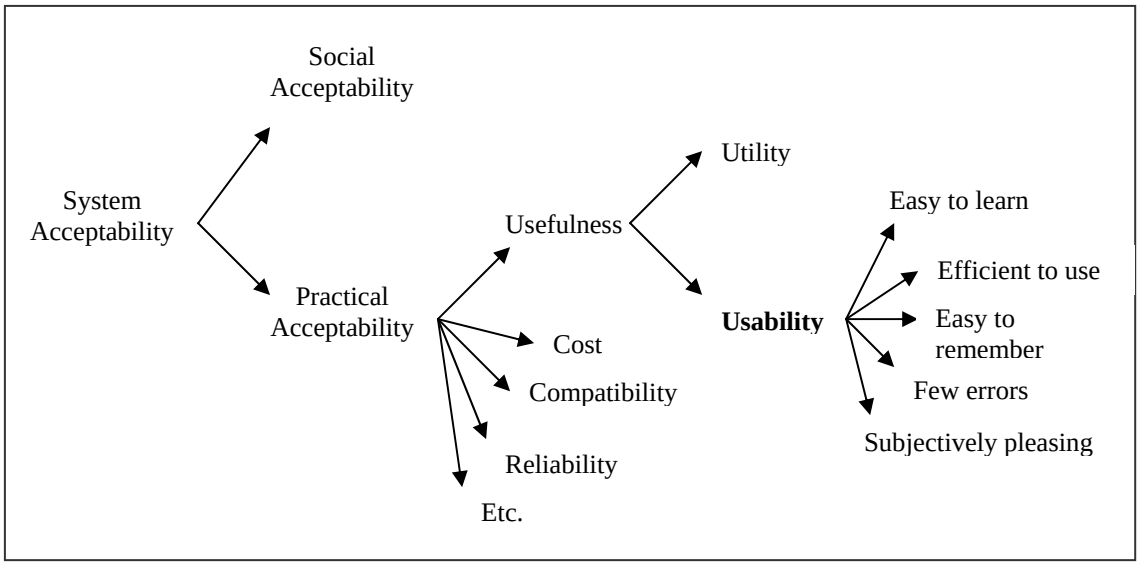


Figura 3-1: Modelo de Atributos de Sistemas de Aceitabilidade. Fonte: [Nielsen 1993].

Jakob Nielsen [Nielsen 1993] também apresenta um conjunto de *slogans* que, como ele próprio diz, são contraditórios, mas que em alguns casos auxiliam na análise de um sistema (ver tabela 3-1).

Slogan	
"*Your best guess is not good enough*"	O seu melhor palpite não é o suficiente para projectar um sistema ideal. Será sempre melhor testar e analisar todas as hipóteses de interpretação, uma vez que cada utilizador tem uma forma de pensar diferente.
"*The user is always right*"	O utilizador está sempre correcto. Por mais que o projecto do sistema seja perfeito, o projectista deve adequá-lo às necessidades dos utilizadores, sendo o principal objectivo resolver os problemas dos que irão utilizar o sistema.
"*The user is not always right*"	O utilizador nem sempre está correcto. Geralmente, o ser humano tem medo de arriscar, logo os utilizadores não sabem dizer como iriam reagir com novas tecnologias ou sistemas; não sabem o que é melhor e têm opiniões muito variadas.
"*Users are not designers*"	Utilizadores não são projectistas, mas podem resolver

	problemas de usabilidade se houver flexibilidade no sistema. Uma interface flexível irá satisfazer tanto utilizadores principiantes quanto aqueles que dominam o sistema. Os primeiros necessitam de apoio, enquanto que os segundos procuram "atalhos", que permitam alcançar o objectivo mais rapidamente.
"*Designers are not users*"	Projectistas não são utilizadores. Por mais que tentem pensar como utilizadores, os projectistas têm experiências, conhecimentos prévios e conhecem a concepção do sistema, o que influencia as suas visões sobre os sistemas, não os deixando observar a aplicação de forma completamente imparcial.
"*Vice presidents are not users*"	Vice-presidentes não são utilizadores. Os que detêm poder e dinheiro na organização não são representativos como utilizadores, podem influenciar as decisões e ter interesses diferentes dos verdadeiros utilizadores.
"*Less is more*"	Menos é mais. Quanto menos elementos no sistema, melhor para manter a concentração do utilizador, pois quanto mais opções existirem, mais disperso o utilizar estará.
"*Details matter*"	Detalhes importam. Apesar de não ser necessário ter muitos elementos, os detalhes importam, como por exemplo utilizar as melhores palavras e frases para ser entendido é sempre importante.
"*Help doesn't*"	Ajuda não. Quanto menos o utilizador necessitar de ajuda, melhor é o sistema.
"*Usability engineering is process*"	Usabilidade é um processo. Uma vez que cada projecto e interface têm suas particularidades, não existe uma única solução, cada caso é um caso.

Tabela 3-1: *Slogans* de Usabilidade de Jakob Nielsen. Fonte: [Nielsen 1993]

Os *slogans* de usabilidade de Jakob Nielsen são, de certa forma, todos muito genéricos e abstractos, o que os torna aplicáveis a quase todos os tipos de sistemas. Nas interfaces de realidade virtual e aumentada também é necessário analisar, testar, observar as necessidades, receios e diferenças dos utilizadores. Também é necessário criar um sistema de realidade virtual e aumentado flexível que auxilie aqueles que são principiantes, mas que responda às necessidades daqueles que o dominam. Não inserir muitos elementos, para não tornar o ambiente confuso e cansativo, mas acrescentar detalhes, que são muito importantes para criar uma melhor imersão e interpretação. Além disso, quanto menos ajuda o utilizador necessitar melhor será, pois isto significa que ele está a interagir correctamente com o ambiente virtual e/ou aumentado. Por último, a usabilidade é um processo, pois cada ambiente virtual tem as suas particularidades e diferenças, tais como preços de aquisição, limitações computacionais (capacidades gráfica, velocidade, memória, resolução, base de dados, *software*).

Todo projecto de sistemas usáveis deve ser informado pelos paradigmas de usabilidade (formas criativas de aplicação da tecnologia que resultam em sistemas usáveis) bem como pelos princípios de usabilidade. Nas secções seguintes são apresentados os principais paradigmas e princípios de usabilidade identificados por Alan Dix e outros autores [Dix et al. 2004].

3.2 Paradigmas de Usabilidade

De acordo com uma visão holística, paradigma é um conjunto de factos avaliados como verdadeiros que dominam o modo de compreender um determinado assunto. Criam-se a partir deles modelos mentais de interpretação, padrões de referência, que definem a forma de pensar, perceber, avaliar e agir.

A mudança de paradigma é o movimento de um paradigma para outro, de um “modo de pensar tradicional” para um “novo modo de pensar”. É uma busca constante de uma nova maneira ou inserção de novas ideias sobre a forma de compreender um determinado assunto. Por vezes é uma forma de revolucionar, mudar um conjunto de ideias básicas e generalizadas sobre a maneira de como funciona algo para uma nova forma de entendimento e percepção, o que acarreta numa mudança ou ampliação do entendimento convencional.

Nos anos 60, o paradigma vigente era o do *Time Sharing*, que correspondia à partilha de recursos no tempo, ou seja, um mesmo computador passou a suportar vários utilizadores, nessa época o lema era "tempo é dinheiro". Enquanto que antes o trabalho de cada um era processado individual, agora era possível uma maior interacção humano-computador, uma vez que a capacidade de processamento fora aumentada. Foi nessa época que surgiu o conceito de *hacker*, programadores que tinham prazer em entender a complexidade e saber todos os detalhes. O computador tornou-se um parceiro de trabalho, permitindo ao programador ser mais reactivo e espontâneo [Dix et al. 2004], [Preece et al. 2002]. Outro paradigma importante foi o *Video Display Units* (VDU), que permitiu a apresentação e a manipulação de informação em forma de imagem num ecrã de computador, correspondente a uma nova forma de trabalho. Se algo fosse mudado no ecrã, também era mudado na memória do computador. A partir daqui, como afirma Alan Dix, os computadores, para além da função de processamento de dados, estenderam as suas capacidades permitindo a abstracção de detalhes, visualização e manipulação de informação.

Depois, surgiu o paradigma *Programming Toolkit*s, que tinha como objectivo ampliar a capacidade humana de programação de sistemas interactivos complexos, sendo que para tal era necessário desenvolver um conjunto de ferramentas que auxiliassem na programação. Este paradigma deu origem a outro paradigma, *Personal Computing*. Nos anos 70, o futuro era visto com computadores pequenos, mas poderosos, podendo ser utilizados por somente um utilizador, que tivesse ou não conhecimentos de computação, era o início da "massificação", ou seja, comercialização em grande escala. Um factor que contribuiu para tal acréscimo no consumo foi a diminuição do preço da electrónica, tornando a tecnologia mais acessível, assim, muitas pessoas com poucos conhecimentos de programação começaram a ter acesso aos sistemas computacionais, o que despertou uma maior preocupação com a usabilidade dos sistemas e suas interfaces com o utilizador.

Nos anos 80, houve profundas mudanças, devido ao grande desenvolvimento e descida do preço da tecnologia, e, por isso, pôde-se observar o aparecimento de um grande número de paradigmas neste período. Um deles foi o paradigma de Sistema de Janelas e Interface WIMP (W*indows*, *Icons*, M*enus*, P*ointers*), como explica Alan Dix [Dix et al. 2004] os seres humanos conseguem pensar em mais do que um assunto ao mesmo tempo, logo o computador também deve ter esta flexibilidade para ser mais eficaz. Para satisfazer tal

necessidade criou-se a possibilidade de obtenção de várias janelas e utilização de menus, ícones e apontadores ao mesmo tempo. Além deste paradigma, surgiu também a Metáfora *Desktop*, que torna o ecrã do computador similar a uma secretária com uma máquina de escrever, arquivos, pastas, caixote de lixo, ou qualquer outro objecto do quotidiano. O paradigma da Manipulação Directa complementa a metáfora anterior, já que requer que os documentos e as pastas estejam visíveis em forma de ícones, podendo, então, ser "arrastados" e "levados" para outro directório. Enquanto realiza tal tarefa, o utilizador tem um *feedback* visual constante do que está acontecendo. Outras características da manipulação directa que procuram simplificar a interacção homano-computador são: visibilidade dos objectos de interesse, acção incremental na interface com *feedback* em todas as suas acções, ter a possibilidade de fazer e desfazer as acções, todas as acções dos utilizadores são operações legais e substituição das linguagens complexas de comando por manipulação directa.

Outro paradigma relacionado com a manipulação directa é o WYSIWYG (*What You See Is What You Get*): o que é visto no ecrã é o que o utilizador obtém na impressora. O mais importante aqui é a simplicidade e diferença entre a representação e o produto final. Outro paradigma que vigorou nos anos 80 foi o do Hipertexto, que interliga ideias, possibilitando uma maior associação de informações. Este veio acompanhado dos conceitos de hipermedia e multimédia, que ligam diferentes *media*, bem como o conceito de sistema interactivo multi-modal, que utiliza os diferentes canais de comunicação ou canais sensoriais do seres humanos como dispositivos de entrada e saída (visão, audição, tacto).

Apesar de ter as suas origens nos anos 60, o paradigma seguinte foi o do Trabalho Colaborativo, que permitia a comunicação e cooperação entre computadores separados. O CSCW (*Computer Supported of Cooperative Work*) foi idealizado para conectar pessoas através do computador, o mais conhecido e utilizado até hoje é o *e-mail* (*electronic mail*). De seguida surgiu o WWW (*World Wide Web*), que interligou todos os computadores através de um protocolo de transmissão (TCP/IP). Através das páginas *web* iniciou-se a troca de textos, imagens, filmes, sons, hipertextos e hipermedia.

O último paradigma relatado na literatura, relaciona-se com a Computação Ubíqua, que procura uma infra-estrutura tecnológica que permita aos computadores deixarem de ser visíveis para estarem incorporados no ambiente; isto implica poder deixar de pensar no computador como uma caixa sobre uma mesa num escritório. Algumas das tecnologias

utilizadas para criar diferentes formas de interacção são as redes sem fios, os sistemas de *tracking*, reconhecimento de voz, visão, posição corporal, as câmaras e os sensores de pressão, ou temperatura, entre outros. Com essas tecnologias, os sistemas podem utilizar as informações captadas para interagir no nosso ambiente, tal como as casas inteligentes.

Não existe um paradigma dominante que rege a forma de compreender a realidade virtual e/ou aumentada [Marsh 1999]. Provavelmente por esta englobar diversas áreas do conhecimento, por estar em rápido desenvolvimento, por ainda existirem limitações dos sistemas computacionais (ex. resolução, velocidade, memória, *software* e problemas de adaptação, além do elevado preço praticado no mercado) e por ainda não se ter uma tecnologia emergente que "guie" para que rumo se deve seguir. No entanto, os ambientes virtuais e/ou aumentados objectivam que todas as acções dos utilizadores ocorram em tempo real, sejam as mais naturais, intuitivas, interactivas possíveis e exista a sensação de imersão seja física, seja mental, através da estimulação dos canais sensoriais.

3.3 Princípios de Usabilidade

Os paradigmas da usabilidade, como foi dito, são modelos mentais da época, que conduzem a forma de pensar sobre um assunto, logo estão relacionados com a tecnologia aplicada e são mais susceptíveis a se tornarem obsoletos. Ao contrário dos princípios de usabilidade, que sendo princípios teóricos, regras para tornar o sistema mais utilizável, são independentes da tecnologia, sendo assim mais resistentes ao tempo. No entanto, ambos são complementares na identificação dos problemas de usabilidade, sendo possível através dos princípios observar os paradigmas vigentes.

Uma interface bem projectada é baseada em princípios e métodos de desenvolvimento que orientam as actividades de idealização, projecto e avaliação. A criação de qualquer sistema é um processo cíclico, baseado em experiências e validações constantes até se alcançar o nível de desenvolvimento desejado. De acordo com Alan Dix [Dix et al. 2004], existem regras abstractas e específicas para determinar as consequências da usabilidade, que estão divididas em Princípios, Normas e Directivas. Os primeiros são derivados do conhecimento geral da psicologia, computação e sociologia, são independentes das tecnologias e podem ser aplicados em várias situações, mas não são muito adequados para definir regras de usabilidade. As normas são regras específicas e muito relacionadas com as tecnologias, já as directivas são menos abstractas que os princípios e mais orientadas

para as tecnologias, porém não tanto quanto as normas, sendo ainda consideradas como gerais.

PRINCÍPIOS

Os princípios estão divididos em três grandes grupos, aqueles que estão relacionados com a Facilidade de Aprendizagem, a Flexibilidade e a Robustez [Dix et al. 2004]. Uma vez que todos esses princípios são regras teóricas, abstractas, gerais e independentes da tecnologia, todos eles, de certa forma, podem ser aplicados aos sistemas de realidade virtual e/ou aumentada.

Facilidade de Aprendizagem

A interface deve ser de fácil aprendizagem, principalmente para um utilizador principiante. O ideal é não ser necessário muito treino e assim mesmo conseguir alcançar um bom desempenho apenas utilizando o sistema (*learning by doing)*. Este grupo de princípios está subdividido em subgrupos:

- *Predictability*

O utilizador deve ter a possibilidade de prever ou imaginar qual será o resultado da sua acção interactiva no sistema de realidade virtual e/ou aumentada e quais as operações que ele pode realizar. Ser previsível num sistema interactivo é diferente de ter um comportamento determinado pelo sistema. No primeiro caso sabe-se que se o utilizador mover a cabeça, a imagem irá acompanhar para o mesmo lado, enquanto que num comportamento predeterminado a imagem irá mover-se independente do movimento da cabeça.

Este princípio está relacionado com a Visibilidade Operacional, que nos sistemas 2D é entendido como “reconhecer ao invés de lembrar”, mas que na realidade virtual poderia ser adaptado a “agir da forma mais natural possível”. O utilizador sabe naturalmente que existe a possibilidade de realizar determinadas acções e como estas irão decorrer, como por exemplo abrir uma porta no mundo virtual.

- *Synthesizability*

É a capacidade do utilizador saber as consequências que determinada acção pode causar. Está relacionada com o princípio da “honestidade”, que é a capacidade da interface de avisar o utilizador de qualquer mudança pertinente ocorrida, podendo ser

feita através de uma notificação imediata ou esporádica. Quando a acção modifica algo na interface, é importante que o utilizador tenha conhecimento dela. Nos ambientes virtuais é ainda mais fácil estar consciente das mudanças, pois estas são imediatas e podem ser vista directamente pelo utilizador.

- *Familiarity*

Relaciona-se com a primeira impressão do utilizador e como este inicia a interacção com o sistema. Os seres humanos utilizam muitas analogias e metáforas, com o intuito de procurar semelhanças entre o novo e algo que já é conhecido. Nos sistemas virtuais, isso é feito constantemente, uma vez que os ambientes virtuais são construídos à imagem do mundo real ou com base nele.

- *Generalizability*

Todo sistema procura tornar-se o mais universal possível, generalizar, logo este princípio procura criar sistemas que possam ser aplicados em situações similares. Por exemplo o sistema de realidade aumentada utilizado nesta dissertação, com relativamente rápidas modificações, permitiu observar diferentes modelos de dados (dados médicos e dados mecânicos).

- *Consistency*

Este princípio refere-se à utilização de operações e elementos similares para alcançar os mesmos objectivos, ou seja, os sistemas devem reagir da mesma forma para todas as situações ou objectivos semelhantes. Existem autores que consideram a familiaridade e a capacidade de generalizar como parte do princípio de coerência, uma vez que a familiaridade corresponde a ser coerente com as experiências reais passadas e a generalização com as experiências obtidas no sistema. Os sistemas de realidade virtual devem procurar ser compatíveis com o mundo real e com eles próprios.

Flexibilidade

Estes princípios têm em consideração que todos os utilizadores são e têm expectativas diferentes, logo quanto mais ajustável for a interface e mais formas de troca de informação estiverem disponíveis melhor será para suprir as suas necessidades (multiplicidade de caminhos e formas de trocar informação entre o utilizador e o sistema). Fazem parte deste grupo:

- *Dialogue Initiative*

Existem duas possibilidades, uma chamada *System Pre-emptive*, quando é o sistema a iniciar o diálogo e o utilizador se limita a responder, e *User Pre-emptive*, que permite ao utilizador iniciar o diálogo a qualquer momento com o máximo de flexibilidade. Quanto maior for a liberdade de introdução de dados nos ambientes virtuais, mais interactiva e imersiva será a interface, pois, como se sabe, o corpo do utilizador é a fonte de dados, assim, quanto mais movimentos e gestos forem permitidos e reconhecidos, melhor será o ambiente virtual e/ou aumentado.

- *Multi-Threading*

É a capacidade de suportar mais do que uma tarefa ao mesmo tempo e permitir a comunicação simultânea de informação entre as tarefas. Esse princípio também está relacionado com a utilização de vários canais sensoriais (multi-modalidade). Nos ambientes virtuais é um requisito básico utilizar os diferentes canais sensoriais, uma vez que ampliam a sensação de imersão. Mesmo que a interface seja somente de navegação, o utilizador terá que visualizar o ambiente enquanto "passeia" pelo espaço virtual, o que implica a realização de mais do que uma tarefa ao mesmo tempo.

- *Task Migrability*

É a capacidade de transferir, do sistema para o utilizador, o controlo da execução das tarefas. O controlo é uma característica muito importante na realidade virtual, o utilizador deve ter a noção de que é ele quem controla o sistema, seja o controlo da navegação, da visão ou da interacção com os objectos virtuais.

- *Substitutivity*

Este princípio está relacionado com as várias formas de representação (*Representation Multiplicity*) ou equivalência de medidas. Nos sistemas 2D, por exemplo, a equivalência de medidas corresponderia à utilização de números ou de gráficos para representar os mesmos dados, ou então, a medida em metros substituída por pés. Já na realidade virtual corresponderá à diversidade de representação gráfica com diferentes formas 3D e equivalência de medidas entre o virtual e o real, por exemplo o utilizador ser capaz de saber quanto mede um pilar numa casa virtual somente olhando para o modelo virtual.

- *Customizability*

É a capacidade de modificar a interface tanto pelo utilizador (Adaptabilidade), quanto pelo sistema (Adaptativo). As modificações realizadas pelo sistema são automáticas e baseadas no conhecimento do utilizador.

Robustez

Estes princípios estão relacionados com o apoio disponível no alcance dos objectivos do utilizador. Os subgrupos relacionados são:

- *Observability*

Através da observação da interface, deve ser possível ao utilizador avaliar o estado interno do sistema. Este sub-princípio está relacionado com outros princípios, tais como a capacidade de explorar o sistema à procura de informação relevante (*browsability*) informação por omissão (*defaults*), a possibilidade de navegar de um estado para outro (*reachability*), a persistência do resultado proveniente da acção de comunicação, bem como a capacidade do utilizador de usar esse resultado (*persistence*).

- *Recoverability*

Corresponde à possibilidade de fazer e desfazer acções. Todos os utilizadores cometem erros, logo se existir a possibilidade de desfazer ou refazer as acções os utilizadores sentir-se-ão mais encorajados a explorar o sistema. Nos ambientes virtuais acontece o mesmo e as operações geralmente são incrementais e reversíveis.

- Tempo de Resposta (*Responsiveness*)

Mede a taxa de comunicação entre o sistema e o utilizador, ou seja, o tempo de resposta do sistema às acções do utilizador; quanto mais imediata esta resposta for melhor será.

- Conformidade com a Tarefa (*Task Conformance*)

O sistema deve suportar todas as tarefas de interesse. Os ambientes virtuais devem ter correspondência com o mundo real, ser entendidos pelo utilizador e suportados pelo sistema.

NORMAS

As normas de usabilidade são regras específicas, que procuram orientar os processos de desenvolvimento de sistemas para os tornar eficientes, eficazes, seguros e confortáveis. Por serem tão particulares são extremamente relacionadas com as tecnologias vigentes, o que as torna obsoletas em um curto espaço de tempo. Também funcionam como forma de impedir que ocorram variações desnecessárias de *software* e *hardware*, pois toda a modificação deve ser justificada tendo em conta os critérios de eficiência e eficácia. Enquanto que o *software* é projectado para ser flexível, os dispositivos de *hardware* são mais difíceis e caros de mudar, sendo as normas mais aplicáveis aos segundos que aos primeiros.

A relevância das normas deve-se ao facto de serem amplamente aceites por diversas comunidades internacionais e serem publicadas por instituições de renome, tal como a *International Organization for Standardization* (ISO) e a *British Standards Institution* (BSI).

Norma ISO 9241-11

A Norma Internacional ISO 9241, *Ergonomic Requirements for Office Work with Visual Display Terminals (VDT)*, é um padrão normativo internacional direccionado para o trabalho de escritório informatizado com terminais de vídeo. Visa promover a saúde, segurança, conforto, eficácia e eficiência dos utilizadores de computador. Contém 17 partes (ver tabela 3-2) relativas ao *hardware*, ambiente, tarefa e *software*, mas é a parte 11 que melhor se aplica à Usabilidade dos Sistemas.

A norma ISO 9241-11 é utilizada como guia, com princípios e técnicas gerais, para a quantificação da usabilidade no que diz respeito ao desempenho e satisfação do utilizador. De acordo com a norma, a usabilidade é dependente do contexto de uso, que é composto por utilizadores, tarefas, equipamentos (*hardware, software* e materiais), bem como do ambiente físico e social. Esta dependência deve-se ao facto de cada um desses factores ter influência no comportamento dos sistemas.

O procedimento para medir a usabilidade é feito através da descrição, não sendo necessário detalhar minuciosamente todas as actividades a serem realizadas. A norma ISO 9241-11, quando utilizada em conjunto com as outras partes da mesma (12 a 17), possibilita a identificação da sua aplicabilidade em questões individuais. Enquanto a norma ISO 9241-

11 se foca na usabilidade, a norma ISO 6385 contempla todos os requisitos ergonómicos e a norma ISO 13407 abrange os processos de desenvolvimento de sistemas [ABNT 2002].

	Título
1	Introdução Geral (*General Introduction*)
2	Orientações sobre requisitos da tarefa (*Guidance on task requirements*)
3	Requisitos para apresentação visual (*Visual display requirements*)
4	Requisitos para teclados (*Keyboard requirements*)
5	Requisitos posturais e de *layout* para posto de trabalho (*Workstation layout and postural requirements*)
6	Requisitos para o ambiente (*Environmental requirements*)
7	Requisitos para monitores quanto à reflexão (*Display requirements with reflections*)
8	Requisitos para apresentação de cores (*Requirements for display colours*)
9	Requisitos para outros dispositivos de entrada, não sendo o teclado (*Requirements for non-keyboard input devices*)
10	Princípios de diálogo (*Dialogue principles*)
11	Orientações sobre usabilidade (*Guidance on usability specification and measures*)
12	Apresentação da informação (*Presentation of information*)
13	Orientações para o utilizador (*User guidance*)
14	Diálogo por menu (*Menu dialogues*)
15	Diálogo por linguagem de comando (*Command dialogues*)
16	Diálogo por manipulação directa (*Direct manipulation dialogues*)
17	Diálogo por preenchimento de formulários (*Form filling dialogues*)

Tabela 3-2 : Partes da Norma ISO 9241. Fonte: [ABNT 2002]

Os benefícios trazidos pela norma são:

- Os aspectos de usabilidade e componentes do contexto de utilização podem ser identificados com o auxílio da estrutura da norma. (Ver figura 3-2)
- O desempenho (eficiência e eficácia) e a satisfação podem ser usados para medir o grau de usabilidade de um produto, como também podem ser utilizados como base de comparação da usabilidade de produtos diferentes, mas que são aplicados no mesmo contexto.
- A usabilidade de um produto pode ser definida, documentada e avaliada.

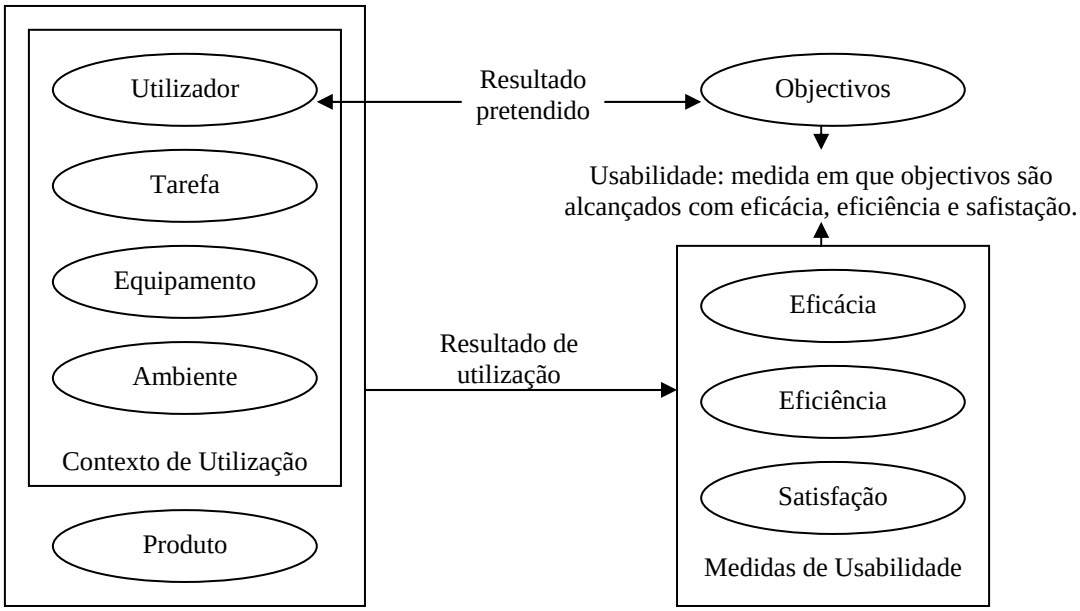


Figura 3-2: Estrutura da Usabilidade. Fonte: [ABNT 2002].

O estudo da usabilidade pode ser aplicado em todas as fases do projecto, desde a concepção, implementação e avaliação, utilizando o mesmo fluxo de actividades (ver figura 3-3). De acordo com a norma, é necessária uma descrição dos objectivos de utilização a serem alcançados e dos componentes do contexto de utilização existentes ou pretendidos, além da determinação de valores reais ou desejados de eficácia, eficiência e satisfação. Os objectivos podem ser decompostos em sub-objectivos, que irão especificar os componentes e os critérios de satisfação tanto para um nível mínimo aceitável, quanto para um nível desejado. Já a descrição do contexto é decomposta nos seus quatro componentes:

- Utilizadores (descrição dos conhecimentos, capacidades, experiências, educação, atributos físicos e capacidades sensoriais e motoras);
- Tarefas (descrição das actividades e processos que são utilizados como base do projecto para alcançar os objectivos, tais como: frequência, duração da mesma, actividades e processos requeridos);
- Equipamentos (descrição do *hardware*, *software* e dos materiais utilizados);
- Ambientes (descrição das características de um ambiente técnico, físico, atmosférico, cultural e social).

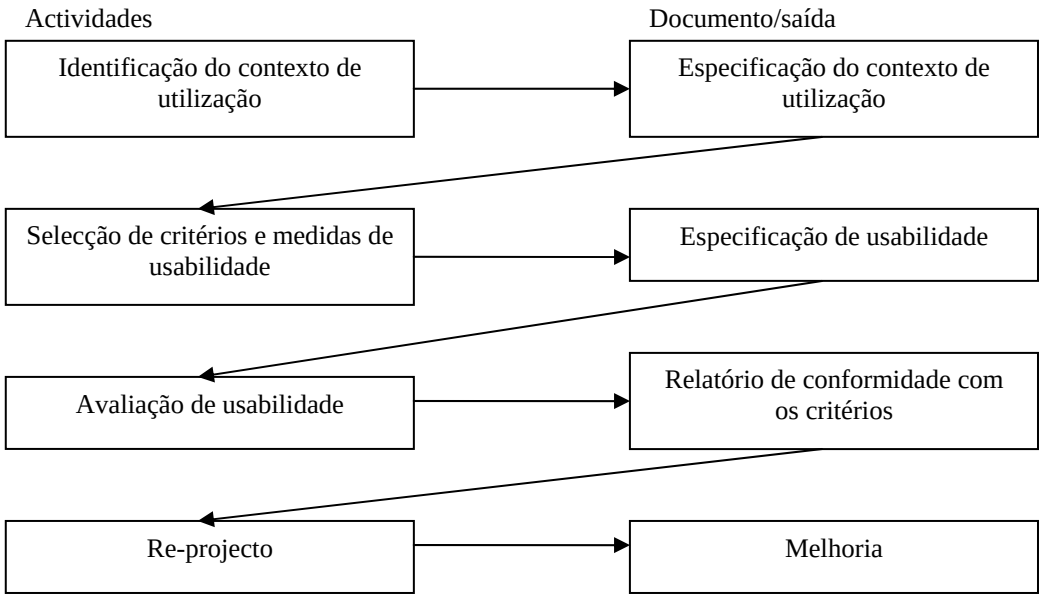


Figura 3-3: Actividades de usabilidade e documentos associados. Fonte: [ABNT 2002]

A determinação de valores reais para a eficácia, eficiência e satisfação é muito relativa, pois depende do contexto de utilização e dos objectivos a serem alcançados, não existindo uma regra para a atribuição dessas medidas. No entanto, para as normas, as medidas de usabilidade (eficiência, eficácia e satisfação) podem ser colectadas de forma objectiva, podendo ser determinadas por médias (com por exemplo, o tempo médio para completar a tarefa) ou de forma subjectiva (através da colecta de respostas sobre as convicções, sentimentos e preferências dos utilizadores). Pode utilizar uma escala de atitudes previamente determinada, questionários e entrevistas. Geralmente o método objectivo fornece indicações directas de eficiência e eficácia, enquanto que a forma subjectiva pode relacionar-se com a satisfação. No entanto, isto não invalida a possibilidade de medir esta última de forma objectiva, podendo-se inferir através do comportamento dos utilizadores, por exemplo através da postura corporal, movimento corporal e frequência de distracção.

O mesmo acontece com a interpretação dos resultados, uma vez que existem variáveis (utilizadores, tarefas e ambientes) que se modificam de caso para caso. Quando um sistema é considerado insatisfatório, devem observar-se separadamente as contribuições directas e as interacções entre os componentes do contexto, pois a usabilidade pode ser optimizada ao ser modificado algum desses elementos do contexto.

Do exposto pode concluir-se que a norma ISO 9241-11 pode ser utilizada como um guia de orientação de projecto ou como uma ferramenta de avaliação da usabilidade, sendo uma

norma internacional de certificação, geralmente aceite por parte dos projectistas de sistemas e que garante a revisão de forma a manter-se adequada às novas tecnologias. Quanto à sua aplicação directa nos sistemas de realidade virtual e aumentada, não parece haver uma restrição específica, sendo no entanto necessário ter em consideração as diferentes características que tais ambientes possuem.

DIRECTIVAS

As directivas são um passo intermédio entre os princípios e as normas, são menos abstractas e mais orientadas para a tecnologia que os primeiros e mais gerais que as segundas. Não fornecem regras aplicáveis a qualquer tipo de sistema interactivo, são somente directivas generais. De acordo com Alan Dix [Dix et al. 2004] existe uma vasta literatura que apresenta directivas para o desenvolvimento de projecto de sistemas interactivos (como [Meyhew 1992]), no entanto é muito difícil concebê-las, pois, como afirma Jakob Nielsen num dos seus *slogans*, a usabilidade é um processo, é composta por diferentes variáveis, logo não existe uma única solução ou regra aplicável, no entanto estas directivas podem auxiliar na análise e desenvolvimentos alternativos.

Capítulo 4 AVALIAÇÃO DE USABILIDADE

4.1 Definição

As técnicas de avaliação e teste de usabilidade podem auxiliar no desenvolvimento de sistemas de realidade virtual e aumentada, permitindo uma maior eficiência, eficácia, satisfação por parte dos utilizadores, diminuição de custos e facilidade de uso [Paelke 2000]. Estas técnicas procuram, através da aplicação dos conhecimentos em interfaces humano-computador, quantificar e se possível aumentar a usabilidade dos mesmos. Já que existem muitos estudos sobre avaliação em ambientes 2D, nesta dissertação, serão descritos os métodos de avaliação mais utilizados, verificando se são aplicáveis aos ambientes virtuais, uma vez que ainda não existem directivas muito claras quanto à melhor forma de garantir a usabilidade dos mesmos [Marsh 1999].

Em geral, existe a ideia de que a informática e os sistemas de realidade virtual agilizam e facilitam a execução de tarefas, no entanto se estes sistemas forem projectados de maneira incorrecta, os utilizadores encontrarão muitos problemas de usabilidade, desde enjoos até dificuldades de navegação, desorientação espacial, problemas com a visão estereoscópica, na interacção com objectos virtuais ou mesmo com o ambiente virtual e/ou aumentado. Enfrentarão também problemas como custos elevados, desempenhos e disponibilidade do *software*, base de dados, dispositivos de entrada e saída, visualização de dados, interpretação das equações matemáticas que descrevam os processos físicos dos objectos e falta de hábito dos utilizadores em relação a tais sistemas. É comum os utilizadores habituados a sistemas *desktop*, acharem este tipo de sistema mais fácil de usar que os sistemas de realidade virtual e/ou aumentada. Além disso, outra limitação é a pequena quantidade de empresas que investem dinheiro e tempo de maneira consistente para avaliar a usabilidade dos seus sistemas; no entanto, como afirma Jakob Nielsen [Mark et al. 1994], os métodos de inspecção de usabilidade não são caros, não requerem equipamentos especiais e os analistas podem ser especialistas, utilizadores finais e até sistemas de *software*. Por este motivo, as empresas são cada vez mais encorajadas a aplicar avaliação de usabilidade, ainda mais quando estudos comprovam que a aplicação desta avaliação no processo de desenvolvimento pode reduzir o investimento económico.

Existe uma variedade de termos utilizados nesta área, o que provoca alguma confusão, como por exemplo os conceitos de Avaliação de Usabilidade e Teste de Usabilidade. Para a autora Jennifer Preece [Preece et al. 2002], avaliar é um processo sistemático de recolha de dados que informa como é utilizado um produto ou sistema, em determinada tarefa e contexto, por um determinado utilizador ou grupo deles. Enquanto que teste de usabilidade envolve a quantificação do desempenho dos utilizadores em determinadas tarefas.

A avaliação pode ser efectuada em dois momentos diversos, e pode tratar-se de Avaliação Formativa e Avaliação Somativa. A primeira é realizada durante o processo de desenvolvimento do sistema/produto para confirmar se este satisfaz as necessidades dos utilizadores, enquanto que a segunda é realizada após o sistema/produto já estar terminado, com o intuito de ajustar às necessidades dos utilizadores.

Outros termos são: Avaliação Objectiva ou Quantitativa, que é baseada em técnicas que usam medidas quantitativas e tem tendência a ser imparcial e objectiva, enquanto a Avaliação Subjectiva ou Qualitativa se baseia em descrições e opiniões subjectivas dos utilizadores ou especialistas.

Outro termo importante no âmbito das avaliações é o de Paradigma de Avaliação. Paradigma, como já foi descrito, associa convicções e práticas (métodos ou técnicas), que guiam a forma de pensar sobre um determinado assunto. Jennifer Preece define 4 paradigmas de avaliação:

1. Avaliação "*Quick and Dirty*" – Uma prática rápida e informal de recolher informação sobre as necessidades e gostos dos utilizadores e consultores. Pode ser realizada a qualquer momento através de uma conversa e os dados são do tipo descritivo e informal.
2. Teste de Usabilidade (*Usability Tests*) – Envolve a quantificação do desempenho dos utilizadores em tarefas previamente determinadas, ex. números de erros cometidos, tempo para completar a tarefa. Tudo é observado (expressões, pausas, comentários). Podem ser utilizados questionários e entrevistas para saber as opiniões dos utilizadores, sobre o sistema/produto testado. Esta é uma prática muito controlada pelo avaliador, geralmente realizada em laboratório isolado do ambiente real.
3. Estudos de Campo (*Field Studies*) – Os estudos são realizados no ambiente e contexto real do utilizador, observa-se o que eles fazem e como a tecnologia os

influencia. Existem dois tipos de estudos em campo: Observador-Observador (o avaliador observa explicitamente "de fora" e recolhe dados qualitativos e quantitativos) e o Observador-Participante (o avaliador participa activamente no grupo observado, observa "de dentro", sendo que os utilizadores podem ou não saber que o avaliador os observa).

4. Avaliação Preditiva (*Predictive Evaluation*) – Através de heurísticas e/ou modelos, especialistas procuram prever os problemas de usabilidade. Não necessita da presença de utilizadores, o que torna o processo de avaliação rápido e com custos reduzidos, portanto mais atractivo para as empresas.

Ao iniciar um processo de avaliação, seja em ambientes virtuais ou não, é necessário, em primeiro lugar, determinar os objectivos e as razões, para a partir daí especificar os métodos a serem aplicados. O passo seguinte consiste em escolher o paradigma de avaliação e as técnicas, ou combinações delas. Depois de já se ter as tarefas determinadas, escolhem-se os participantes, se for um estudo de laboratório, procuram-se aqueles que melhor representam os utilizadores finais, porém se for um estudo de campo serão utilizadores reais em seu ambiente natural. Por fim, testa-se o sistema/produto, avaliam-se e interpretam-se os dados.

De acordo com Jakob Nielsen [Mark et al. 1994], existem 4 formas básicas de avaliar as interfaces humano-computador:

1. Automaticamente (medindo a usabilidade através de um *software* de avaliação);
2. Empiricamente (testando a interface com utilizadores reais);
3. Formalmente (utilizando modelos e fórmulas) e
4. Informalmente (testando com base nas capacidades gerais, conhecimentos e experiência dos avaliadores, é nesta última que a Inspecção de Usabilidade de Jakob Nielsen se enquadra).

Destas 4 formas, ainda de acordo com o autor, a primeira não funciona e a terceira é muito difícil de aplicar. No entanto, a segunda é a forma de avaliação mais utilizada, apesar de ser mais onerosa e o recrutamento de utilizadores ser difícil, já que sendo utilizada conjuntamente com os métodos de inspecção de usabilidade, permite detectar a quase totalidade dos problemas.

Ben Shneiderman [Shneiderman et al. 2005] afirma que a primeira instância de qualquer avaliação consiste em pedir a amigos e colegas de trabalho que dêem a sua opinião quanto

ao sistema; esta forma assemelha-se à forma básica informal de Jakob Nielsen citada acima e está englobada no paradigma da avaliação "*quick and dirty*" de Jennifer Preece. No entanto, Ben Shneiderman completa que existem técnicas de avaliação mais formais, que são mais fidedignas e eficientes, como práticas de pensar alto no que está fazendo ou pretendendo fazer (*think aloud*), gravar o desempenho dos utilizadores (*videotaping*) para ser revisto no futuro próximo e/ou ser mostrado aos projectistas ou comparar a interface com versões anteriores ou com produtos similares.

Já o autor Alan Dix [Dix et al. 2004] afirma que a avaliação de usabilidade é um conjunto de testes que assegura que o sistema se irá comportar da forma esperada e que irá satisfazer as necessidades dos utilizadores. Tem três objectivos principais, que são testar a funcionalidade do sistema, avaliar a interface e os efeitos que ela causa no utilizador e identificar e especificar os problemas que o sistema possa conter. Além disso, não deve ser pontual, mas sim realizada durante todo o processo de desenvolvimento, procurando melhorar os "problemas" encontrados, o que proporciona factos actualizados que podem dar apoio às decisões sobre as modificações necessárias.

Alan Dix separa a avaliação em dois tipos de técnicas, as Analíticas, mais vocacionadas para a Avaliação do Projecto, e as Empíricas, mais vocacionadas para a Avaliação da Implementação. As primeiras não têm a participação dos utilizadores finais e são realizadas em laboratório, enquanto que as segundas têm participação activa de utilizadores finais e podem ser realizadas no campo. Ambas as técnicas apresentam vantagens e desvantagens que estão resumidas nas tabelas 4-1 e 4-2. No entanto, a maior parte destas técnicas pode ser aplicada em ambas as situações. Por exemplo a avaliação heurística pode ser usada para avaliar a implementação, bem como as experiências controladas podem ser utilizadas para a avaliação do projecto.

Para além de todas as técnicas e métodos de avaliação, um ponto que nunca se deve deixar de considerar é o perfil dos utilizadores. Este será sempre diferenciado, uma vez que depende das características psicológicas (atitude positiva/negativa, uma motivação alta/baixa), físicas (como a presença de alguma deficiência física), conhecimentos e experiências prévias do utilizador (nível de educação, idioma, experiência com o sistema ou com a tarefa, etc.). Os utilizadores são pessoas com diferentes vivências, necessidades e perspectivas sobre como ver e interpretar o mundo, ou seja, o que é importante para uns pode não ser relevante para outros. Além disso, existem os factores externos como o

ambiente, o contexto, as ferramentas disponíveis e as actividades correlacionadas [Patel et al. 2006] e [Sutcliffe 2003].

Avaliação do Projecto			
Características	Vantagens	Desvantagens	Métodos (tipos)
• É uma avaliação analítica; • Sem participação dos utilizadores finais; • Realizada em laboratório;	• Possibilidade de criação de um ambiente inexistente na realidade; • Possibilidade de simular um ambiente perigoso ou remoto; • Opera sem interrupções;	• É difícil a observação de grupos de participantes a realizarem uma mesma tarefa, pois todos dependem do mesmo contexto; • A simulação nunca alcança o mesmo grau de realismo;	• *Cognitive Walkthrough;* • Avaliação Heurística (Jakob Nielsen); • Avaliação baseada em Revisão Bibliográfica; • Avaliação baseada em Modelos;

Tabela 4-1: Avaliação do Projecto.

Avaliação da Implementação			
Características	Vantagens	Desvantagens	Métodos (tipos)
• É uma avaliação empírica; • Com participação dos utilizadores finais; • Realizada no campo ou no laboratório;	• Possibilidade de observação das acções reais e das interacções entre sistemas e utilizadores finais que não foram previstas no laboratório; • Possibilidade de se realizar no ambiente natural de trabalho e interacção;	• Muitos ruídos, movimentos e interrupções;	• Técnicas Experimentais; • Técnicas de Observação; • Técnicas de Inquérito (*Query Techniques*);

Tabela 4-2: Avaliação da Implementação.

4.2 Avaliação Analítica do Projecto

Esse tipo de avaliação como o próprio nome indica é idealizada para ser realizada antes da implementação do sistema, enquanto este ainda está na fase de projecto. Por esta razão os métodos que compõem este tipo de avaliação são pensados sem a participação de utilizadores finais, sendo realizada em laboratórios com o intuito de confirmar hipóteses, suportar teorias e descobrir os problemas, para, assim, poder ser "refinado" o protótipo. Parte-se do princípio de que quanto mais tarde um erro é descoberto, mais custos estarão associados à sua correcção.

4.2.1 *Cognitive Walkthrough*

O termo *Walkthrough*, nesta dissertação, será traduzido como exploração, significando uma revisão detalhada da sequência das acções do utilizador, que se refere aos "passos" que a interface obriga o mesmo a realizar para finalizar determinada tarefa. Os avaliadores prevêem problemas de usabilidade, através da observação da simulação dessas acções, não sendo necessário realizar testes com verdadeiros utilizadores. Este método preocupa-se em determinar a facilidade de aprendizagem do sistema e, mais especificadamente, quanto se consegue aprender somente explorando o mesmo. É uma técnica perfeitamente aplicável a situações de realidade virtual e/ou aumentada.

De acordo com Jennifer Preece [Preece et al. 2002] para realizar uma avaliação com este método são necessários quatro factores:

1. Uma descrição detalhada do utilizador típico e do protótipo do sistema, não sendo no entanto necessário que esteja completa;
2. Uma descrição da tarefa a ser realizada pelo utilizador;
3. Uma lista completa das acções necessárias para realizar a tarefa;
4. Uma indicação da experiência e conhecimentos que os utilizadores têm.

Após a obtenção desta informação, o avaliador simulará a situação procurando responder em cada acção às quatro perguntas seguintes:

1. Estão os utilizadores a tentar realizar algum resultado específico com a acção desempenhada?
2. Serão os utilizadores capazes de perceber que a acção correcta está disponível?
3. Uma vez que os utilizadores encontrem as acções correctas numa interface, irão eles reconhecer que estas são as indicadas para o que eles querem fazer?

4. Depois da acção ser realizada, os utilizadores irão entender o *feedback* que vão receber? Irão saber que realizaram a acção correcta?

A documentação de todos os resultados é um ponto importantíssimo. Documentar o que é bom e o que necessita ser melhorado permite desenvolver uma normalização da avaliação.

Para a avaliação ser completa deve promover discussão entre os participantes que testaram o sistema, os projectistas e os especialistas [Shneiderman et al. 2005]. Jakob Nielsen [Mark et al. 1994] designa como *Pluralistic Walkthrough*, uma variante do *Cognitive Walkthrough* que reúne os três principais tipos de participantes (representantes dos utilizadores finais, projectistas e avaliadores) para testarem o cenário ou tarefas e discutirem os problemas e as soluções de usabilidade. No entanto, este método tem limitações, por envolver um grupo de discussão, o progresso do método pode ser lento, visto ser necessário esperar que todos os participantes decidam e escrevam as suas respostas, não sendo possível a discussão sobre a interface antes desses pontos estarem finalizados. Outro aspecto negativo é o facto dos participantes terem acesso às ideias do sistema e não à simulação ou protótipo do mesmo.

Em relação aos benefícios, estes são: a possibilidade de disponibilizar informação sobre desempenho e satisfação, numa fase em que o protótipo ainda nem foi construído; a aplicação relativamente rápida de testes ao protótipo; e possibilidade de receber sugestões e *feedback* imediato, uma vez que os responsáveis por desenvolver o ambiente estarão presentes nas discussões.

Por este ser um método teórico, que não envolve a participação de utilizadores finais, nem a construção física de um protótipo, sendo somente necessário promover a discussão entre os projectistas, os avaliadores e representantes da classe dos utilizadores finais, é possível a aplicação desta técnica em ambientes virtuais e/ou aumentados. É viável seguir o mesmo fluxo de pensamento (descrição do perfil do utilizador, suas experiências, as tarefas e as acções necessárias) e responder ao mesmo tipo de questões.

4.2.2 Avaliação Heurística

De acordo com o próprio Jakob Nielsen [Nielsen 1993], este método é de fácil aplicação e é o mais informal da inspecção de usabilidade. Pressupõe avaliar se o sistema está de acordo com uma lista de princípios, as heurísticas de usabilidade. De acordo com Alan Dix

[Dix et al. 2004] estas heurísticas são como um guia para as decisões de desenvolvimento do sistema.

Jakob Nielsen e Rolf Molich conceberam uma lista com 10 heurísticas baseadas nos princípios e directivas de usabilidade. Com o auxílio desta, os avaliadores podem analisar um sistema e identificar potenciais problemas de usabilidade. Um factor importante é a independência entre os avaliadores, Jakob Nielsen afirma que 5 avaliadores independentes conseguem descobrir cerca de 75% dos problemas, além disso outro factor importante é a forma de interpretação e aplicação das heurísticas [Mark et al. 1994].

Abaixo seguem as 10 heurísticas de usabilidade propostas por Jakob Nielsen e Rolf Molich sendo referida a possibilidade da sua aplicação em ambientes de realidade virtual e aumentada.

1. Visibilidade do estado do sistema: o sistema deve manter o utilizador informado do que está ocorrendo, através de *feedback* apropriado, tendo em conta o tempo. Nos ambientes virtuais e aumentados, os utilizadores também devem estar informados das modificações que o ambiente sofre com as suas acções.
2. Correspondência entre o sistema e o mundo real: o sistema deve "falar" a mesma língua que o utilizador, usar conceitos familiares e convencionais, tornando as informações naturais e lógicas. O mesmo acontece com os ambientes virtuais e aumentados, que procuram imitar ou até mesmo substituir a realidade física do mundo real.
3. Controlo e liberdade do utilizador: as pessoas erram com frequência, logo são necessárias formas para restabelecer o estado inicial (*undo* e *redo*). Nos ambientes virtuais e aumentados, geralmente as acções são incrementais e reversíveis.
4. Consistência e padrões: os utilizadores não devem ter que se preocupar se as palavras, situações ou acções significam a mesma coisa. O mesmo deve acontecer para ambientes virtuais e aumentados.
5. Prevenção de erros: prevenir erros é melhor do que fornecer boas mensagens de erro. A maior parte dos erros nos ambientes virtuais e aumentados são provenientes dos dispositivos de entrada e saída, logo os erros nestes ambientes estão mais ligados à tecnologia do que propriamente ao desenvolvimento do sistema.
6. Reconhecer ao invés de lembrar: os utilizadores não devem ter necessidade de se lembrar de informação de uma parte para a outra do sistema, além disso as

instruções devem estar visíveis ou fáceis de se encontrar. O mesmo deve acontecer nos ambientes virtuais e aumentados.

7. Flexibilidade e eficiência de uso: o sistema deve satisfazer tanto os utilizadores principiantes quanto os experientes. A disponibilização de atalhos é uma forma de ajustamento aos vários tipos de utilizador. Esta heurística também é aplicável aos sistemas de realidade virtual e aumentada.
8. *Design* minimalista: os diálogos devem conter somente a informação necessária. No entanto, nos ambientes virtuais e aumentados torna-se necessária a incorporação de detalhes, pois são estes que acrescentam imersão a esse tipo de ambiente, porém não devem ser em demasia para não confundir os utilizadores.
9. Ajudar os utilizadores a reconhecer, diagnosticar e recuperar de erros: as mensagens de erro devem ser claras, objectivas, precisar o problema e sugerir soluções. Nos ambientes virtuais e aumentados, sendo que o objectivo é torná-los o mais intuitivo possível, o reconhecimento dos erros também deve ser intuitivo e natural.
10. Ajuda e documentação: o sistema deve facultar ajuda e ter uma forma de pesquisa rápida, focada na tarefa do utilizador, listando concretamente os passos a serem seguidos, que não devem ser extensos. Nos ambientes virtuais e aumentados, o ideal é que o sistema seja tão natural e intuitivo que não necessite de ajuda seja do sistema, seja de outro utilizador.

O resultado de uma avaliação heurística de um sistema é uma lista de problemas encontrados, que devem ser registados num documento e transmitidos aos responsáveis pelo desenvolvimento do sistema, que irá determinar se cada problema é relevante ou não e se pode ser corrigido. Esta é uma técnica simples, relativamente rápida e que não envolve grande custo.

Da mesma forma que os princípios de usabilidade são gerais, as heurísticas de usabilidade sendo baseadas nos princípios também são genéricas, podendo ser aplicadas a diversos tipos de sistemas (sistemas 2D, 3D, realidade virtual e/ou aumentada). Como o próprio Jakob Nielsen afirma, as heurísticas são mais aplicadas na avaliação de sítios *web*, sendo necessário adaptá-las ou reformulá-las para outros tipos de sistemas ou aplicações. Uma forma de criar heurísticas suplementares é através de análise e teste com participantes de produtos/ambientes já existentes, procurando criar princípios que possam explicar os

problemas de usabilidade encontrados. Logo, a avaliação heurística depende muito do avaliador que irá decidir como proceder à avaliação da interface.

4.2.3 Avaliação baseada em Revisão Bibliográfica

Este método é baseado na revisão bibliográfica de tudo o que já foi escrito, testado e documentado. O revisor dever seleccionar evidências, temas escolhidos, análises e assumpções realizadas [Dix et al. 2004]. Antes de iniciar qualquer processo de avaliação, seja de ambientes virtuais ou não, apesar de consumir muito tempo, esta é uma técnica extremamente válida por evitar que experiências se repitam.

4.2.4 Avaliação baseada em Modelos

Este método é baseado em modelos já existentes, disponibilizando medidas para o desempenho dos utilizadores, sem a realização de testes com utilizadores. Este método é considerado interessante para situações em que se torna difícil aplicar testes com utilizadores. Apresenta-se a seguir um modelo muito citado na literatura:

Oito Regras de Shneiderman

Ben Shneiderman [Shneiderman et al. 2005] definiu oito regras, "8 Regras de Ouro", para o projecto de interfaces de sistemas interactivos, estas estão muito relacionadas com os princípios abstractos discutidos anteriormente e são voltadas para aplicações 2D. Para cada regra será apresentada sua definição e como poderia ser adaptada às interfaces 3D.

1. Consistência (*Strive for consistency*)

Segundo o autor, esta é a regra mais difícil de cumprir, pois existe uma variedade enorme de formas para manter a consistência.

2D	3D
- Sequências consistentes de acções devem ser requeridas em situações similares; - Terminologias idênticas devem ser usadas nos menus e ajuda; - A consistência deve estar presente também no uso das cores, nos tipos de caracteres e utilização de letras maiúsculas e minúsculas.	- Acções virtuais devem ser análogas às acções realizadas em situações reais, por exemplo respeitar as leis da física; - Terminologias e imagens dos ambientes virtuais e aumentados devem ser correspondentes à realidade; - A consistência também deve estar presente no uso das cores, unidades de medida, sons 3D e sensações tácteis.

Tabela 4-3: Comparação da regra de consistência entre aplicações 2D e 3D.

2. Facilidade de utilização (*Cater to universal usability*)

Os utilizadores mais frequentes necessitam de atalhos para aumentar a facilidade de utilização do sistema.

2D	3D
Devem ser fornecidos atalhos, comandos escondidos, permitindo um aumentando da velocidade de realização das tarefas.	O máximo reconhecimento de interacções, tempo de respostas e actualizações imediatas, tornando as interacções o mais natural possível, sejam estas visuais, auditivas, olfactivas ou tácteis.

Tabela 4-4: Comparação da regra de *shortcuts* entre aplicações 2D e 3D.

3. *Feedback* Informativo (*Offer informative feedback*)

Toda acção do utilizador deve ter uma resposta do sistema.

2D	3D
As acções frequentes e com menos importância devem gerar respostas discretas, já que as acções menos habituais e de maior gravidade devem gerar respostas mais concretas e consistentes.	As acções dos utilizadores reconhecidas pelos sistemas de *tracking*, devem gerar respostas imediatas. Uma vez que todas elas são traduzidas em acções no espaço virtual, as respostas devem ser imediatamente visualizadas ou sentidas no ambiente.

Tabela 4-5: Comparação da regra de *feedback* informativo entre aplicações 2D e 3D.

4. Diálogos de encerramento (*Design dialogs to yield closure*)

Tanto nos ambientes 2D como nos ambientes 3D, é necessário indicar o término de uma acção ou um grupo de acções, concedendo assim satisfação ao utilizador por ter alcançado o objectivo.

5. Prevenção e procedimentos simplificados de correcção de erros (*Prevent erros*)

A interacção entre utilizador e sistema deve evitar ao máximo erros, mas se estes acontecerem devem ser resolvidos de forma rápida e simplificada. Uma premissa é que todas as pessoas cometem erros, no entanto estes podem ser evitados através de um projecto do sistema ciente dos erros mais comuns.

2D	3D
- Utilizar selecção de opções em menu em detrimento de preenchimento de formulários, sempre que possível; - Sempre que o utilizador cometer um erro, o sistema deve avisá-lo e oferecer sugestões ou instruções simples e consistentes de como corrigir ou refazer a acção;	- Utilizar interacção natural sempre que possível; - Sempre que o utilizador cometer um erro, o sistema deve informá-lo e permitir voltar ou refazer a acção (ex. se o utilizador tentar abrir uma porta, que só abre para fora, puxando, o sistema não deve permitir a acção, porém o utilizador pode refazer a acção empurrando a porta. Porém, se for uma aplicação de treino médico, o perfurar um osso não pode ser desfeito).

Tabela 4-6: Comparação da regra de prevenção de erros entre aplicações 2D e 3D.

6. Fácil reversão das acções (*Permit easy reversal of actions*)

Tanto em aplicações 2D como 3D, se existir a possibilidades de reverter as acções, os utilizadores sentem-se mais estimulados a explorar o sistema e menos preocupados em cometer erros, pois sabem que podem voltar para o estado anterior.

7. Apoio ao controlo (*Support internal locus of control*)

Tanto para aplicações 2D como 3D, o utilizador deve sentir que tem o controlo do sistema e que este irá responder às suas acções, caso contrário sentirá ansiedade e insatisfação. Os sistemas devem ser testados tanto para as situações normais, quanto para as anormais, como forma de treino, para assim ser possível a compilação de informação que antecipe condições adversas e não esperadas.

8. Redução da carga da memória de curto termo (*Reduce short-term memory load*)

2D	3D
- Através da manutenção de ecrã simples, consolidação de múltiplas páginas e disponibilidade de tempo para a aprendizagem de acções.	- Nos sistemas de realidade virtual, a redução da carga da memória de curto prazo é realizada através da interacção natural, que permite ao utilizador agir como se estivesse no mundo real.

Tabela 4-7: Comparação da regra de redução da carga da memória de curto prazo entre aplicações 2D e 3D.

4.3 Avaliação de Implementação

Diferentemente da avaliação do projecto, a avaliação da implementação é idealizada para o período após a implementação do sistema, uma vez que implica o envolvimento de utilizadores. No entanto, ambas as formas de avaliação (Projecto ou Implementação) podem ser aplicadas antes ou depois de implementado o sistema. Este tipo de avaliação é centrado nos utilizadores, logo os testes são empíricos, realizados geralmente em campo, (podendo no entanto ser realizados em laboratório) e com utilizadores.

4.3.1 Técnicas Experimentais

Este método baseia-se em experiências controladas, que irão comprovar, pela quantificação do desempenho dos participantes, se são verdadeiras ou não as hipóteses predeterminadas pelos avaliadores. Após determinadas as hipóteses, o avaliador escolhe aquela que será testada, sendo então definidas as condições experimentais, que diferem nas variáveis controláveis. Existem as variáveis independentes e dependentes, as primeiras são as características que podem ser manipuladas na experiência, promovendo situações diferenciadas possíveis de comparação, enquanto que as últimas são afectadas pelas variáveis independentes, sendo então medidas durante a experiência, para evidenciar se houve ou não mudanças.

Quanto aos participantes, devem ter as mesmas características que os reais utilizadores, tais como familiaridade com computadores, nível educacional e idade, isto para serem representativos do grupo. O ideal seria ter os reais utilizadores a participar nos testes.

O método experimental engloba duas técnicas principais que são “entre grupos” e “no grupo”. No primeiro caso, os grupos são associados a condições semelhantes, diferentes nas variáveis a serem medidas, assim, quando comparados os resultados, as variações apresentadas serão consequência da manipulação das variáveis independentes. Enquanto que no segundo caso, todos os participantes irão trabalhar em todas as condições propostas dentro de um mesmo grupo.

De acordo com Alan Dix [Dix et al. 2004], o ponto positivo do método “entre grupos” é que cada grupo está sob uma única condição, uma variável dentre todas as outras controladas. Enquanto que as desvantagens são o grande número de participantes requeridos, a existência de diferenças entre os utilizadores e a possibilidade de

discrepância de resultados entre os grupos, podendo os resultados serem desconsiderados pela grande diferença entre eles. No método "no grupo" não é necessária uma grande quantidade de participantes, uma vez que todos participam de todas as experiências, no entanto eles podem aprender uns com os outros ou com a própria experiência, logo é preciso haver uma variação nas condições para que não haja distorções na experiência, uns começarem por A e outros por B, minimizando assim o factor aprendizagem.

Passos para um Projecto Experimental	
1º	Escolher a hipótese, ou seja, decidir claramente o que se quer demonstrar;
2º	Clarificar as variáveis independentes e dependentes;
3º	Decidir o método experimental a utilizar ("entre grupos" ou "no grupo");
4º	Escolher o método de análise de resultados.

Tabela 4-8: Projecto Experimental. Fonte: Alan Dix [Dix et al. 2004].

4.3.2 Técnicas Observacionais

São técnicas menos informais para a observação dos utilizadores enquanto interagem com um sistema. Podem ocorrer no próprio ambiente de trabalho (estudo em campo) ou fora dele com tarefas predeterminadas (estudo em laboratório).

Existem várias técnicas de observação, umas mais intrusivas que outras, mas a escolha final para aplicação de uma delas irá depender dos objectivos a serem alcançados e dos estudos propostos.

Existe um conjunto de factores a ter em conta na utilização destas técnicas, desde a tarefa previamente determinada, o convite a utilizadores que testarão o ambiente/sistema, até a forma de registar as informações. Alan Dix [Dix et al. 2004] chama de Protocolo as formas de registo de informação. A tabela 4-9 mostra os principais métodos de registo.

No entanto, não existe uma única forma correcta de registar os eventos sejam eles virtuais ou não, sendo desejável a utilização de várias técnicas ao mesmo tempo, com o intuito de complementar e diminuir os pontos fracos de cada uma.

Papel e Caneta	- é a forma mais antiga e barata de anotar interpretações e situações extraordinárias, inclui a possibilidade de fazer diagramas e desenhos, mas está condicionada pela velocidade de escrita do avaliador;
Áudio	- numa análise posterior de dados, torna-se difícil identificar exactamente a acção gravada;
Vídeo	- tem a vantagem de se poder ver o utilizador, identificar rapidamente a acção e poder gravar um grande número de detalhes. Geralmente utilizam-se duas câmaras, uma para o ecrã do computador e outra para as mãos e face do utilizador.
Computer Logging	- o sistema grava automaticamente as acções e os comandos do utilizador; pode ser usado para observar vários utilizadores por um período maior de tempo.

Tabela 4-9: Protocolos de Registo. Fonte: Alan Dix [Dix et al. 2004].

"Pensar alto" (*thinking aloud*) é a técnica mais comum; o observador pede aos utilizadores que pensem em voz alta, descrevendo o que eles acreditam que irá acontecer quando fizerem determinada acção; porque estão a fazer e o que estão a tentar fazer. A vantagem é que esta técnica é muito simples, não requer experiência prévia e torna possível a certeza de como o sistema é utilizado pelos utilizadores, além de apresentar os problemas de usabilidade. No entanto, apresenta como desvantagem a subjectividade da informação e também a presença de avaliadores que podem influenciar o desempenho dos utilizadores por saberem que estão a ser observados.

Timothy Marsh [Marsh 1999] acredita que é possível utilizar a técnica de "pensar alto" para avaliar a usabilidade de ambientes *desktop* virtual, porém Chris Johnson [Johnson 1998] diz o contrário. Este último autor afirma que é difícil obter *feedback* em relação a ambientes do tipo *desktop* virtual através desta técnica, porque muitos dos utilizadores têm dificuldades em articular a linguagem 3D, ou seja, não sabem expressar o que poderia contribuir para melhorar um ambiente *desktop* virtual.

Outra técnica é a Avaliação Cooperativa, neste caso os utilizadores são encorajados a criticar o sistema, uma vez que se sentem como colaboradores da avaliação. Acaba por se

tornar uma conversa mais relaxada, em que o utilizador e o avaliador conversam sobre o sistema, expondo e esclarecendo dúvidas.

Os estudos de campo são mais complexos que os de laboratório, uma vez que ocorrem no ambiente real de trabalho com utilizadores finais, que enfrentam interrupções (telefone, colegas de trabalho) e imprevistos. Os avaliadores podem observar como observador-observador ou como observador-participante. O primeiro observa explicitamente, sendo a sua presença intrusiva na realidade observada, enquanto que o segundo, participa para aprender o que, como e porque fazer uma acção de determinada forma. O observador faz parte do grupo que compõe o ambiente de campo, podendo estar ou não "camuflado", ou seja, os utilizadores podem saber ou não que este novo membro é um avaliador.

Todas essas técnicas de observação podem ser aplicadas em separado ou conjuntamente nos ambientes de realidade virtual e aumentada, sendo somente necessário ter em consideração os objectivos e os pontos a serem observados.

4.3.3 Técnicas de Inquérito

Segundo Ben Shneiderman [Shneiderman et al. 2005], estas são as técnicas mais adequadas para a quantificação da satisfação subjectiva dos utilizadores, pois pergunta-se directamente ao utilizador a sua opinião sobre o sistema, através de entrevistas ou questionários. É uma técnica relativamente barata e de fácil aplicação, no entanto a informação obtida é subjectiva e, como afirma Alan Dix, é difícil obter respostas sobre tecnologias alternativas, uma vez que os utilizadores não estão familiarizados com o novo tipo de tecnologia/ produto.

As entrevistas e os questionários podem ser estruturados ou flexíveis. As primeiras têm a vantagem de poderem ser modificadas de acordo com o contexto, despertando assim um maior interesse por parte do entrevistado. Além disso, as entrevistas são muito efectivas para avaliações de alto nível, ou seja, para determinar informação sobre preferências, impressões e atitudes. Apesar das entrevistas serem uma conversa, estas necessitam de perguntas base ou guiadoras, para que assim não se perca o rumo da avaliação. Os questionários são menos flexíveis, uma vez que as questões são fixas, mas permitem atingir um grupo maior de utilizadores, necessitam de menos tempo na aplicação, podem ser analisados com mais rigor e podem ser aplicados em diferentes partes do processo de desenvolvimento. Os questionários podem apresentar perguntas gerais, que os enquadram

na população observada, tal como idade, sexo, ocupação; e perguntas discursivas, que permitem aos utilizadores dar opinião sobre o assunto e são uma boa forma de captar informação subjectiva.

Existem diferentes formatos de respostas: respostas escalonadas (utilizam uma escala numérica que corresponde à opinião do utilizador), respostas de escolha-múltipla (as respostas são oferecidas sendo somente necessário escolher a(s) opções que corresponde(m) à opinião) e respostas ordenadas (em que o utilizador ordena as respostas de acordo com a sua preferência).

Quanto aos tipos de entrevistas, existem 4 tipos que são determinados pelo grau de controlo exercido pelo entrevistador. Estas são: não estruturadas, estruturadas, semi-estruturadas e em grupo. As entrevistas não estruturadas são compostas por questões abertas, sem formato ou conteúdo predeterminado, a que o entrevistado pode responder da forma que lhe for mais conveniente e o entrevistador pode modificar o rumo da entrevista a qualquer momento. As entrevistas estruturadas são o oposto, seguem perguntas predeterminadas, podendo as respostas ser de escolha-múltipla, tendo como consequência uma resposta precisa, e são padronizadas para todos os entrevistados. Por outro lado, as entrevistas semi-estruturadas são um intermédio entre as duas anteriores, combinando características de ambas.

Entrevistas em grupo procuram reunir utilizadores com as mesmas características. A vantagem deste tipo de entrevista é a possibilidade de discutir questões diversas e ainda o facto de terem resultados rápidos e de baixo custo. As desvantagens estão relacionadas com a necessidade do entrevistador de controlar as discussões, não permitindo que assuntos irrelevantes sejam discutidos.

De acordo com Preece [Preece et al. 2002], um problema em qualquer entrevista é a correspondência entre o que os utilizadores dizem e o que fazem. Isto acontece porque muitas das respostas são baseadas no que eles acham que seja correcto ou no que os avaliadores querem ouvir. Este tipo de comportamento não pode ser evitado, mas o avaliador deve estar atento e tentar reduzir ao máximo as distorções através da conjugação de várias técnicas e evitando as perguntas que possam sugerir respostas particulares.

Os questionários podem conter perguntas discursivas ou objectivas e ser aplicados sozinhos ou conjugados com outros métodos. A sua concepção deve ser feita de forma cuidadosa, as perguntas devem ser claras, concisas, não intrusivas, ordenadas de uma

forma lógica, se utilizarem escalas de respostas, estas devem ser ordenadas de forma intuitiva e consistente. Os questionários têm a vantagem de poder ser aplicados a um grande número de pessoas ao mesmo tempo, possibilitando uma maior amostra da população representativa dos utilizadores finais. Actualmente, estão a ser muito aplicados questionários via Internet, sendo esta uma forma fácil e rápida de captar um maior número de pessoas. As vantagens deste tipo de aplicação são que as repostas são devolvidas rapidamente, os dados podem ser transferidos para uma base de dados, com um custo reduzido, enquanto que as desvantagens estão sobretudo relacionadas com a representatividade da amostra estudada.

Afirmar qual é o melhor método de avaliação de usabilidade, tanto para ambientes 2D, quanto para ambientes de realidade virtual e aumentada, é muito arriscado, pois existe um grande número de variáveis não controláveis, tais como o perfil dos utilizadores e dos avaliadores. Alguns estudos mostram que diferentes avaliadores e diferentes técnicas encontram diferentes problemas de usabilidade. Por isso a combinação de métodos é, provavelmente, o mais aconselhável, uma vez que conjuga os pontos fortes das metodologias, já que cada método é mais indicado para uma determinada aplicação. Alan Dix [Dix et al. 2004] enumera oito factores que podem auxiliar na determinação do método a ser escolhido:

- Fase do ciclo de desenvolvimento (*Design versus* Implementação);
- Estilo da avaliação (Laboratório *versus* Campo);
- Nível de subjectividade ou objectividade da técnica;
- Tipo de medidas disponibilizadas (Quantitativas *versus* Qualitativas);
- Nível da informação disponibilizada;
- Rapidez das respostas;
- Nível de interferência da técnica;
- Recursos requeridos.

A tabela 4-10 contém um resumo das principais características de cada técnica de avaliação apresentada anteriormente.

Classificação das Técnicas	Fase de aplicação	Local	Subjectivo x Objectivo	Resultado Obtido
Cognitive Walkthrough	Ambas	Lab.	Subjectivo	Qualitativo
Avaliação Heurística	Ambas	Lab.	Subjectivo	Qualitativo
Baseado em Revisão Bibliográfica	Projecto	Lab.	Objectivo	Qualitativo
Baseado em Modelos	Projecto	Lab.	Subjectivo	Qualitativo
Pensar Alto	Imple-mentação	Lab./ Campo	Subjectivo	Qualitativo
Experiências controladas	Ambas	Lab.	Objectivo	Quantitativo
Entrevistas	Ambas	Lab./ Campo	Subjectivo	Qualitativo/ Quantitativo
Questionários	Ambas	Lab./ Campo	Subjectivo	Qualitativo/ Quantitativo

Tabela 4-10: Resumo das principais características de cada técnica de avaliação. Fonte: [Dix et al. 2004].

Todos os métodos de avaliação apresentados nesta dissertação são baseados em paradigmas e princípios gerais, logo possuem características gerais que podem ser adaptadas e aplicadas a qualquer tipo de sistema. Para escolher que tipo de método aplicar na avaliação de ambientes virtuais e aumentados é necessário seguir todos os passos de uma avaliação comum: determinar os objectivos, os pontos a serem observados (tarefas, dispositivos de entrada e saída, interacções), as hipóteses a serem comprovadas, os tipos de utilizadores finais, as influências externas que interferem no sistema, para a partir daí desenvolver e determinar que métodos melhor se adequam à situação.

De acordo com um recente estudo de [Patel et al. 2006], para avaliar ambientes de realidade virtual e aumentada, é necessário observar as diferenças que estes têm em relação aos ambientes 2D, tal como as características de imersão e interacção. Este mesmo estudo

afirma que os métodos de avaliação de usabilidade nestes ambientes podem ser classificados de acordo com o objectivo a ser medido:

- Usabilidade em geral – utiliza medidas qualitativas, pode ser informal (pedir comentários e observações dos utilizadores, representantes dos utilizadores e/ou especialistas), formal (questionários e entrevistas) e pode ser realizado tanto na fase de projecto quanto na fase de implementação do sistema.
- Interacção e comportamento dos utilizadores – utiliza métodos de observação para observar respostas físicas e emocionais, expressões faciais e gestos.
- Desempenho dos utilizadores – utiliza medidas quantitativas, como número de erros, número de acções, tempo e velocidade.
- Experiência dos utilizadores – utiliza métodos qualitativos, geralmente o utilizador faz uma revisão das suas experiências logo após a utilização do ambiente de realidade virtual e aumentada, pode também utilizar inquéritos, entrevistas individuais ou em grupo.
- Tontura e ergonomia física – utiliza métodos qualitativos para medir o desconforto, a tontura ou o *stress* dos utilizadores ao usarem o sistema.
- Imersão física ou mental – mede o grau de imersão do utilizador no ambiente virtual ou aumentado através de questionários.

Já de acordo com Burkhardt [Burkhardt 2006], os objectivos da avaliação de usabilidade vão depender do que será avaliado (técnicas de interacção, de manipulação, dispositivos, conceitos), da estratégia de avaliação utilizada (avaliação formativa ou somativa), do momento no ciclo de desenvolvimento (projecto ou implementação) e dos recursos disponíveis (tempo, especialistas, dinheiro).

Portanto, não existe um método que seja o melhor de todos. Cada método de avaliação de usabilidade tem as suas vantagens e limitações (ex. alguns métodos são melhores para a fase de projecto outros para a fase de implementação), sendo assim a melhor forma de avaliar um sistema de realidade virtual ou aumentada é conjugando métodos de avaliações que se complementam, tendo como resultado um melhor entendimento sobre os ambientes avaliados.

Capítulo 5 Avaliação de Usabilidade de Ambientes Virtuais

Após a explicação dos conceitos e características da realidade virtual e aumentada, da usabilidade e das suas formas de avaliação nos capítulos anteriores, o próximo passo é verificar se essas metodologias e técnicas de avaliação podem ser conjugadas e facilmente aplicadas para testar ambientes de realidade virtual e aumentada. Sendo assim, esta parte da dissertação tem como objectivo descrever uma aplicação prática da avaliação de usabilidade em ambientes de realidade virtual e aumentada, sendo apresentadas previamente algumas experiências realizadas por outros autores consideradas relevantes.

5.1 Experiências Relacionadas

Existem algumas experiências descritas na literatura científica que comparam sistemas de realidade virtual com outros sistemas virtuais ou com *desktop* convencional. Nesta secção apresentam-se algumas experiências relevantes para este trabalho.

Uma experiência já antiga foi realizada pelo autor Kevin Arthur [Arthur et al. 1993] que compara, qualitativamente, um sistema *Fishtank* RV (que neste caso consiste em um sistema de *tracking* para a cabeça, um monitor de alta resolução e *shutter glass*es com visão estereoscópica) com um sistema tradicional baseado em monitores e com um sistema de realidade imersivo produzido por um *head-mounted display*. As experiências foram realizadas sob duas condições: com ou sem estereoscopia e com ou sem sistema de *tracking* dos movimentos da cabeça. Sendo que, no final, os utilizadores responderam a perguntas qualitativas e deram suas opiniões sobre os sistemas. Neste estudo, o autor concluiu que os utilizadores preferiram combinar o sistema *fishtank* com *tracker* ao invés da visão estereoscópica, provavelmente, porque o monitor com estereoscopia apresentava um atraso e o sistema de *tracking* contribuiu para o desempenho dos utilizadores.

Colin Ware e Glenn Franck [Ware et al. 1996] comparam diferentes ambientes virtuais baseados em monitores tradicionais. Chegaram à conclusão de que a combinação mais eficaz foi a estereoscopia com o seguimento dos movimentos da cabeça.

Já no estudo descrito em [Pausch et al. 1997], os autores tentaram quantificar a imersão em ambientes virtuais através da realização de um estudo que compara a realidade virtual (que

utilização um HMD) com um sistema baseado em monitor, sendo a tarefa central procurar, numa sala virtual, objectos escondidos ou "camuflados". As conclusões do estudo foram:

- os utilizadores do ambiente virtual não foram mais rápidos que os utilizadores do ambiente tradicional a encontrar os objectos "camuflados";
- quando os objectos estavam ausentes da cena, os utilizadores da interface de realidade virtual foram mais rápidos que os dos ambientes tradicionais já que aqueles possibilitam uma melhor referência mental do espaço;
- utilizadores do ambiente tradicional melhoraram o seu desempenho ao treinar no ambiente virtual, enquanto aqueles que iniciaram no ambiente *desktop*, tiveram mais dificuldade em transferir a experiência para a realidade virtual.

O estudo de [Bowman et al. 2001a] objectivou criar um guia que auxiliasse na escolha da melhor forma de apresentação de uma determinada aplicação de realidade virtual. Neste estudo, é examinado a diferença entre um sistema de realidade virtual que inclui um HMD com outro sistema que inclui uma mesa virtual, comparando, respectivamente, a visão sobre o mundo virtual "egocêntrica" (visão em primeira pessoa) e "exocentrica" (visão em terceira pessoa), sendo a tarefa procurar objectos escondidos no ambiente. As conclusões foram que os desempenhos dos utilizadores que iniciaram pelo ambiente com o HMD foram melhores do que daqueles que começaram pela mesa virtual. Isto porque, no primeiro caso, os utilizadores foram capazes de criar um mapa mental numa visão em primeira pessoa, enquanto que no ambiente com a mesa virtual isto não foi possível, além disso, os utilizadores não conseguiram descobrir uma estratégia óptima para completar a tarefa.

Um trabalho recentemente publicado [Demiralp et al. 2006], descreve um estudo qualitativo que compara a influência de um sistema *desktop* (sistema *fishtank*), e de um sistema imersivo (sistema CAVE) no desempenho dos utilizadores numa tarefa de visualização de dados. Ambos os sistemas utilizaram *shutter glasses* para proporcionar visão estereoscópica e um *tracker* fixo nos óculos para seguir a posição da cabeça do utilizador. No estudo qualitativo, os utilizadores, após a visualização de dados, expressaram as suas opiniões, comparando os dois sistemas usados. O resultado foi que a maioria dos utilizadores preferiu o sistema *fishtank*, pois estavam mais habituados a utilizar esse tipo de sistema. No estudo quantitativo, foram medidos os desempenhos dos utilizadores numa tarefa de procura visual, que consistia na identificação de uma

determinado forma em diferentes contextos visuais. Os utilizadores tiveram desempenhos mais rápidos e mais precisos no ambiente *fishtank*.

Como conclusões gerais do trabalho, concluiu-se que o sistema *fishtank* é melhor para os tipos de tarefas propostas nestes estudos, isso porque esse tipo de tarefa necessitava que os utilizadores visualizassem e manipulassem o mundo virtual de "fora para dentro" e que interagissem com objectos virtuais menores que os seus corpos, logo que se enquadrassem nos seus campos de visão. Se se tratasse de uma tarefa do tipo "dentro para fora", como por exemplo uma exploração arquitectónica, o sistema CAVE seria o mais apropriado, uma vez que o objecto virtual seria maior quer o corpo e campo de visão dos utilizadores.

5.2 Descrição do Ambiente Utilizado

A experiência realizada nesta dissertação, utiliza um ambiente desenvolvido no âmbito da disciplina de Projecto do 5º ano, da licenciatura em Engenharia de Computadores e Telemática da Universidade de Aveiro, do ano lectivo de 2004/2005 [Cruz et al. 2005]. Este culminou no desenvolvimento de um sistema de baixo custo que permite a concepção relativamente rápida de cenários de ambientes de realidade virtual ou aumentada. A partir deste projecto base, foi possível o desenvolvimento de aplicações de visualização de dados tridimensionais e de um jogo virtual 3D, que fizeram parte do Projecto de Bacharelato de três estudantes do curso de Engenharia Eléctrica, Matemática e Ciência da Computação (EEMC) da Universidade de Tecnologia de Delft, na Holanda, desenvolvido durante o período de dez semanas (Abril à Junho de 2006), na Universidade de Aveiro.

O projecto, desenvolvido pelos alunos holandeses, originou dois tipos de ambientes a serem testados:

1. Realidade Virtual - com um jogo virtual em 3D;
2. Realidade Aumentada - com a visualização de modelos/dados 3D.

Ambos os ambientes podem ser apresentados tanto num ecrã (computador normal), quanto num HMD (*Head-Mounted Display*), ou seja, serão testados, no total, 4 ambientes diferentes, detalhados mais à frente no ponto 5.3 na descrição dos ambientes de testes:

1. Realidade Virtual (RV);
2. *Desktop* Virtual (DV);
3. Realidade Aumentada (RA);
4. *Desktop* Aumentado (DA).

5.2.1 Objectivos

O objectivo principal das experiências é duplo: por um lado pretende-se perceber se é possível a adaptação dos métodos de avaliação de usabilidade convencionais nos ambientes de realidade virtual e aumentada e por outro lado, pretende-se perceber as diferenças entre um sistema *desktop* tradicional e um sistema baseado num HMD. Com o intuito de comparar os dois ambientes, foram desenvolvidas duas experiências diferentes:

1. Jogo virtual – Realidade Virtual (RV) x *Desktop* Virtual (DV);
2. Visualização de dados – Realidade Aumentada (RA) x *Desktop* Aumentado (DA).

Ambas as experiências procuraram analisar as diferenças entre os desempenhos e comportamentos dos utilizadores. Contudo, os objectivos específicos de cada uma são: na primeira experiência, testar a navegação e visualização nos dois tipos de ambientes propostos, enquanto que na segunda observar a manipulação e interacção com as diferentes representações dos dados 3D apresentados.

5.2.2 *Hardware* Utilizado

O *hardware* da Realidade Virtual (RV) utilizado consiste num *head-mounted display* (HMD) *i-glasses SVGA Pro* [i-glasses, último acesso 08/01/2007] com resolução de 800x600 *pixels,* exibição de imagens 3D com estereoscopia e possibilidade de aplicações de áudio através de auscultadores estéreo integrados (ver figura 5-1). Neste caso, os auscultadores foram desactivados, sendo as colunas activadas para dar *feedback* aos utilizadores quando estes apanhavam os objectos, como também, para o avaliador confirmar se os utilizadores haviam capturado os objectos à primeira.

O HMD utilizado disponibiliza imagens equivalentes à imagem de um monitor de 70 polegadas vista a uma distância de 4 metros, sendo a taxa máxima de actualização de 100Hz (50Hz para cada olho, em modo estéreo).

Além do HMD, também é utilizado um sensor de orientação (*tracker*) (ver figura 5-2) *InterTrax 2* da *InterSense* [ISense, último acesso 08/01/2007] com três graus de liberdade (*yaw, pitch e roll*) e uma taxa de actualização de 256Hz. Este foi acoplado ao HMD para acompanhar os movimentos da cabeça do utilizador.

Figura 5-1: HMD *i-glasses SVGA Pro.*

Figura 5-2: Sensor de orientação *Intertrax 2*.

As características do computador utilizado são um processador *Pentium 4* a 2.5GHz, 1024MB de memória RAM e uma placa gráfica *NVIDIA GeForce FX 5950 Ultra* com 256MB de memória. A comunicação com este é realizada através de cabos, comunicando o HMD por intermédio de uma interface VGA e o sensor de orientação pela porta USB.

Para o sistema de Realidade Aumentada (RA), apenas foi necessária a incorporação de uma micro-câmara, com dimensões de 20x20x19 milímetros, com peso de 20 gramas (ver figura 5-3), alimentada por uma pilha comum de 9 volts, sem fios, analógica, com um sensor CMOS (330 linhas, 1.2GHz), cujo receptor se encontra ligado a um conversor de vídeo analógico-digital com saída USB. A câmara foi posicionada directamente no HMD, ao nível dos olhos, o que prefigura uma aplicação de realidade aumentada do tipo v*ideo see-through* [Azuma 1997].

Figura 5-3: Micro-câmara.

O receptor de vídeo (ver figura 5-4) é ajustado manualmente para se obter uma boa recepção do sinal analógico. O conversor para digital é um *Real TV Box Top 9* produzido pela *NPG Technology* [NPG, último acesso 08/01/2007] (ver figura 5-5), com ligação USB, sintonizador de televisão e controlo remoto.

Figura 5-4: Receptor de vídeo.

Figura 5-5: *Real TV Box Top 9* da NPG.

5.2.3 *Software* Utilizado

Realidade Virtual

No desenvolvimento do jogo a utilizar no ambiente de realidade virtual utilizou-se uma arquitectura modular baseada no modelo de programação orientado a objectos. A maior parte da linguagem de programação foi o C++ e o motor gráfico utilizado foi o *Object-oriented Graphics Rendering Engine* (OGRE) [Huussen et al. 2006], que auxilia na construção de aplicações de gráficos 3D sem ter que conhecer todos os detalhes de *rendering*. Sendo uma ferramenta disponibilizada ao público.

Realidade Aumentada

No desenvolvimento a utilizar no ambiente de realidade aumentada foi utilizada a linguagem C++ e o *ARToolkit* [Billinghurst et al. 1999] que é uma biblioteca da linguagem C, para a construção das aplicações de realidade aumentada. Esta ferramenta gráfica é capaz de detectar marcadores predefinidos no mundo real e, através dessa informação, posicionar os objectos virtuais na imagem capturada.

Os marcadores são quadrados delineados com um traço negro grosso, com um símbolo no seu interior (ver figura 5-6). A sua detecção é realizada através da conversão das imagens captadas num registo a preto e branco (ver figura 5-7), maximizando o contraste entre o traço negro e o fundo branco.

Figura 5-6: Exemplo de marcador.

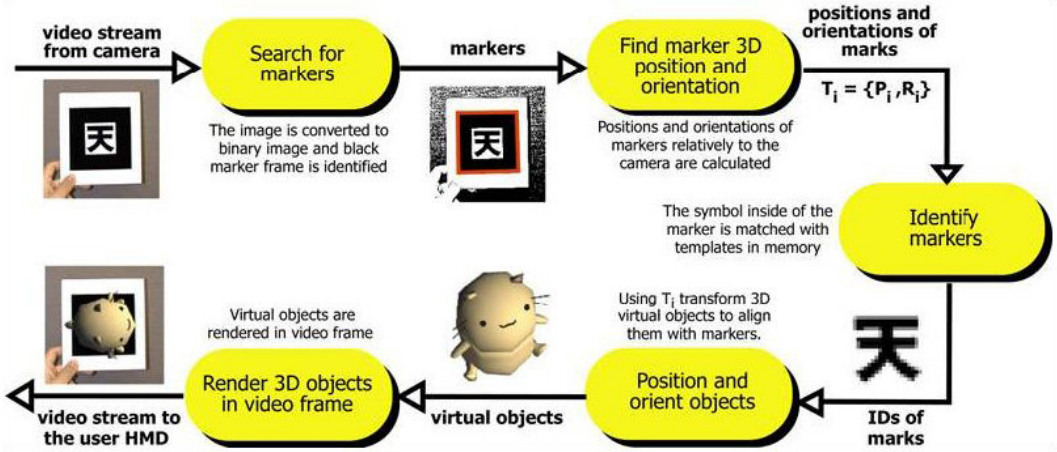


Figura 5-7: Diagrama do *ARToolkit*.
Fonte: [http://www.hitl.washington.edu/artoolkit/documentation/userarwork.htm]

O registo a preto e branco permite que os marcadores sejam evidenciados em ambientes complexos e coloridos. A orientação da câmara relativamente ao marcador é calculada através da deformação proveniente da perspectiva, da rotação do marcador e da posição do símbolo no seu interior. Uma vez que se sabe a dimensão do marcador, é possível determinar a distância do utilizador relativamente ao marcador.

Para o processamento e representação dos diferentes tipos de dados 3D, uma vez que o *ARToolkit* só interpreta modelos VRML, foi utilizado o *Visualization Toolkit* (VTK) [Schroeder et al. 1998] para expandir as capacidades. Esta é uma ferramenta gráfica que disponibiliza classes para aplicações de visualização e manipulação de dados tridimensionais, importação de modelos e interacção com dispositivos. Basicamente, o *ARToolkit* foi utilizado somente para extrair as imagens da câmara, assim como a posição destes, usando depois o VTK para *rendering* dos modelos. Essa configuração acrescenta uma maior flexibilidade e permite testar diferentes grupos de dados e métodos de visualização sem grande esforço.

5.3 Experiências no Ambiente de Realidade Virtual

5.3.1 Descrição

Como foi referido anteriormente, a situação a ser analisada é a usabilidade do sistema virtual baseado no HMD (RV) em comparação com o *desktop* tradicional (DV). A experiência utiliza um jogo virtual imersivo 3D, constituído por um labirinto, no qual o

utilizador tem que navegar e apanhar o máximo de objectos durante o tempo determinado (ver figura 5-8). A tarefa é relativamente simples, na totalidade são distribuídos pelo ambiente 21 objectos, sendo o tempo máximo permitido de 5 minutos.

Figura 5-8: Labirinto e Objecto Virtual.

A escolha de um jogo justifica-se pelos seguintes motivos: primeiro porque tendo uma aplicação específica a testar, o desenvolvimento de um jogo perecia mais motivador para os alunos de ERASMUS, além disso o jogo inclui tarefas de navegação e visualização que são características importantes dos ambientes de realidade virtual. Segundo, porque seria mais fácil encontrar voluntários dispostos a testarem o ambiente. Pensou-se em um labirinto com o intuito de observar a navegação dos utilizadores (se eles iriam colidir muito com as paredes, se iriam sentir-se desorientados e se iriam conseguir realizar as curvas, as subidas e descidas). A tarefa de apanhar objectos foi pensada para observar a visualização dentro do ambiente (se os utilizadores conseguiam visualizar bem os objectos) e também a navegação (se conseguiam dirigir-se para os objectos e apanhá-los).

O mesmo jogo, com as mesmas características, foi testado nos dois ambientes propostos: Realidade Virtual (RV) e *Desktop* Virtual (DV).

Entende-se que o ambiente de RV é composto pelo HMD com visão estereoscópica, rato (o botão esquerdo corresponde à função ir para frente e o botão direito corresponde à função ir para trás, assim, o utilizador pode tirar o rato da mesa e utilizá-lo no ar ver figura 5-9) e *tracker* situado nos óculos um pouco acima do nível dos olhos, para detectar a posição e orientação da cabeça do utilizador. Essa combinação foi escolhida com o intuito de deixar

o utilizador o mais “livre” possível, sem necessitar de um apoio físico, podendo ficar em pé e mover o corpo (dentro das possibilidades, uma vez que existem os cabos que diminuem a mobilidade).

Figura 5-9: Utilizador jogando no sistema de Realidade Virtual.

Já o ambiente DV é composto pelo ecrã do computador, teclado (tecla A corresponde a esquerda, D direita, W frente e S trás, escolhidas porque são as mais comuns nos jogos de computador) e rato (correspondente ao *tracker* no ambiente RV). Esta combinação representa o sistema tradicional (ecrã, teclado e rato) a que a maioria dos utilizadores está habituado.

No ambiente DV, o utilizador controla os movimentos do jogo através do teclado e consegue olhar à sua volta movimentando o rato, o que é uma forma comum de interacção nos jogos de computador. Enquanto que no ambiente RV, o utilizador se desloca de acordo com a orientação do HMD, a posição da cabeça é seguida, tornando os movimentos mais semelhantes ao movimento natural.

5.3.2 Metodologia de Avaliação

A metodologia de avaliação aplicada utilizou técnicas qualitativas e quantitativas [Demiralp et al. 2006]. As técnicas qualitativas consistiram em pedir aos utilizadores que

testassem as aplicações e expressassem as suas opiniões através da resposta a algumas questões feitas por um avaliador. O avaliador podia argumentar e contra argumentar, porém no final recolhia as opiniões finais dos utilizadores sobre ambos os sistemas (RV e DV).

A técnica quantitativa aplicada enquadra-se na forma empírica de Jakob Nielsen [Mark et al. 1994], uma vez que as interfaces foram testadas com utilizadores. Tratou-se de uma experiência controlada em que se usou a técnica experimental "no grupo" [Dix et al. 2004] e [Preece et al. 2002], já que todos os utilizadores testam ambas as condições propostas (RV e DV). Esta técnica tem como vantagem requerer menos utilizadores, logo reduzir os efeitos provenientes das diferenças pessoais. Contudo, possibilita aos utilizadores aprenderem com a própria experiência, por este motivo e para evitar que os resultados fossem influenciados pelo factor aprendizagem, os utilizadores foram divididos aleatoriamente em dois grupos, sendo que uma parte começou pelo ambiente RV e a outra pelo ambiente DV. Além disso, as técnicas quantitativas consistiram em quantificar os desempenhos dos utilizadores através do registo de variáveis pelo sistema. Estas foram:

- o tempo dispendido;
- o número de colisões;
- a distância percorrida;
- a velocidade média;
- o número de objectos apanhados.

5.3.3 Suposições

Antes de iniciar a experiência, com base nas variáveis a serem registadas pelo sistema, foram estruturadas algumas suposições a fim de serem provadas. Estas foram:

S1 – O desempenho dos utilizadores quanto à navegação será melhor no ambiente *desktop* (DV), porque as pessoas estão habituadas aos sistemas *desktop* tradicionais. Aqueles que estão acostumados a jogar jogos de computador não terão qualquer dificuldade em nenhum dos dois ambientes.

S2 – Os utilizadores terão melhores desempenhos na segunda experiência devido ao factor aprendizagem, uma vez que será jogado o mesmo jogo em ambos os ambientes.

5.3.4 Recolha dos Dados

Durante dois dias consecutivos, a recolha dos dados foi feita directamente com 44 utilizadores no ambiente de RV e no ambiente DV. A experiência decorreu no terceiro andar do edifício do IEETA, na Universidade de Aveiro, não sendo escolhido um local isolado do ambiente de trabalho. Em ambas as situações, foi realizado um inquérito conduzido por um avaliador a cada utilizador. Antes de se iniciar a experiência foi realizado um teste piloto com três utilizadores para verificar se o sistema poderia ser testado em larga escala e se o questionário (ver anexo 1) estava claro, objectivo e conciso.

A maioria dos participantes foram abordados pelo avaliador, que os convidava a participar na experiência, outros vieram por curiosidade pedir para "jogar". Havia uma breve explicação geral, que consistia numa pequena apresentação do jogo, dos objectivos da experiência, dos componentes de *hardware* que estes iriam utilizar, bem como do questionário a que teriam de responder no final na experiência. Foi também explicado que se houvesse qualquer problema, sentissem enjoo ou não quisessem jogar mais, poderiam abandonar a experiência a qualquer momento. O tempo total da explicação era cerca de um minuto e meio. Em seguida, sem qualquer treino prévio, iniciava-se a experiência na presença do avaliador. Enquanto o utilizador estava imerso, o avaliador acompanhava o seu desempenho através do monitor do computador.

A aplicação monitora os seguintes eventos: a distância percorrida, velocidade média, número de colisões, número de objectos apanhados e o tempo de jogo. Outros eventos foram observados directamente pelo avaliador, como quantos objectos os participantes não conseguiam apanhar na primeira tentativa. A técnica de observação utilizada pode ter influenciado a actuação de alguns utilizadores, uma vez que alguns deles podem ter-se sentido incomodados com a presença de um avaliador, bem como pelo facto de outras pessoas os poderem observar enquanto utilizavam o ambiente virtual. Constatou-se que algumas pessoas sentiram um pouco de vergonha, sobretudo porque tinham que ficar de pé e rodar para desenrolar os cabos do HMD e rato.

Tal como referido anteriormente, com o fim de minimizar o factor aprendizagem, metade dos utilizadores iniciaram os testes pelo ambiente virtual, enquanto que a outra metade pelo ambiente *desktop*, sendo que a ordem de utilização foi escolhida pelo número de sequência que era atribuído a cada utilizador.

Relativamente aos dados que serão apresentados a seguir, deve-se ter em atenção que:

- O terceiro utilizador (Virtual_3) não completou a experiência no ambiente *desktop*, porque se sentiu tonto e desconfortável com o jogo neste tipo de ambiente.
- O vigésimo utilizador (*Desktop*_20) não completou a experiência no ambiente virtual, porque desistiu já que não conseguiu conciliar os movimentos do rato com o HMD.
- Não existe o utilizador número 32 (*Desktop*_32 e Virtual _32), já que este não pode realizar as experiências por motivos pessoais de tempo.

5.3.5 Apresentação e Análise dos Resultados

Participantes

A amostra analisada é composta pelos resultados obtidos através dos 44 voluntários, sendo 12 do sexo feminino e 32 do sexo masculino. Todos utilizam muito o computador no seu dia-a-dia, para trabalho ou divertimento.

Com o objectivo de definir o perfil dos utilizadores, foram colocadas no questionário, questões que pretendiam estabelecer traços do perfil que se considerou poder ter influência no desempenho do utilizador, como a idade, a experiência de utilização de jogos de vídeo ou de imagens de cenas 3D.

Os participantes foram distribuídos em três faixas etárias (tabela 5-1):

Até 15 anos	9 pessoas (6F, 3M)
16-30 anos	26 pessoas (5F, 21M)
31 ou mais anos	9 pessoas (1F, 8M)

Tabela 5-1: Faixa etária dos participantes da experiência de realidade virtual.

Destes, têm hábito de jogar jogos em computadores (tabela 5-2):

Nada	18 pessoas (5F, 13M)
As vezes	18 pessoas (5F, 13M)
Muito	8 pessoas (2F, 6M)

Tabela 5-2: Distribuição dos participantes quanto ao hábito de jogar em computadores.

Destes, têm hábito de visualizar imagens tridimensionais (tabela 5-3):

Nada	18 pessoas (4F, 14M)
Às vezes	11 pessoas (6F, 5M)
Muito	15 pessoas (2F, 13M)

Tabela 5-3: Distribuição dos participantes quanto ao hábito de visualizar imagens tridimensionais.

Os resultados qualitativos extraídos dos questionários preenchidos pelos utilizadores encontram-se no Anexo 2.

Medidas Descritivas

Com o intuito de definir parâmetros para analisar a amostra, tentou-se determinar medidas descritivas. A média de tendência central utilizada foi a média aritmética, porém como esta não é uma medida satisfatória, uma vez que é influenciada pelos valores extremos, procurou-se completar com a mediana. A tabela 5-4 mostra os valores encontrados.

	Média		Mediana	
	RV	DV	RV	DV
Velocidade	6,62	9,34	6,6	9,9
Distância	551,52	754	543,5	819,5
Colisões	35,11	38	31,5	31
Objectos	13,57	16,70	14,5	17

Tabela 5-4: Médias e Medianas dos resultados.

Ao observar as médias aritméticas e as medianas, pode-se inferir que, apesar dos valores serem superiores no ambiente *desktop*, a diferença entre os valores de colisões e objectos apanhados foram menores que a diferença entre as velocidades e distâncias percorridas, logo os utilizadores percorreram uma distância maior, a uma velocidade maior no ambiente *desktop*, porém o desempenho médio não foi muito diferente. O que pode significar que o desempenho dos utilizadores não foi tão inferior no ambiente virtual. Outro ponto importante a ser considerado é que a grande maioria dos utilizadores está habituada a utilizar regularmente o ambiente *desktop*, enquanto que a realidade virtual ainda é uma novidade.

Através da utilização de *box-plots* [Hoaglin et al. 1983], procurou-se comparar as medianas tendo-se utilizado também testes não-paramétricos. Na figura 5-10, o *box-plot* da esquerda corresponde ao número de objectos apanhados pelos utilizadores, enquanto que o da direita corresponde ao número de colisões. Para os objectos apanhados, os valores das medianas foram 14,5 para RV e 17 para DV, aplicando o Wilcoxon Matched Pairs Test, este rejeitou a hipótese de igualdade dos valores (p=0.000002). Isto significa que a diferença entre o número de objectos apanhados em ambos os ambientes é estatisticamente relevante. No

entanto, para os valores de colisão, 31,5 para RV e 31 para DV, a diferença entre os valores é irrelevante (o teste não rejeitou a hipótese de igualdade p=0.880730).

Nos casos da distância percorrida (543,5 para RV e 819,5 para DV, p=0.000000) e velocidade média (6,6 para RV e 9,9 para DV, p=0,000000) as diferenças entre os valores das medianas são estatisticamente relevantes em ambas as situações (ver figura 5-11).

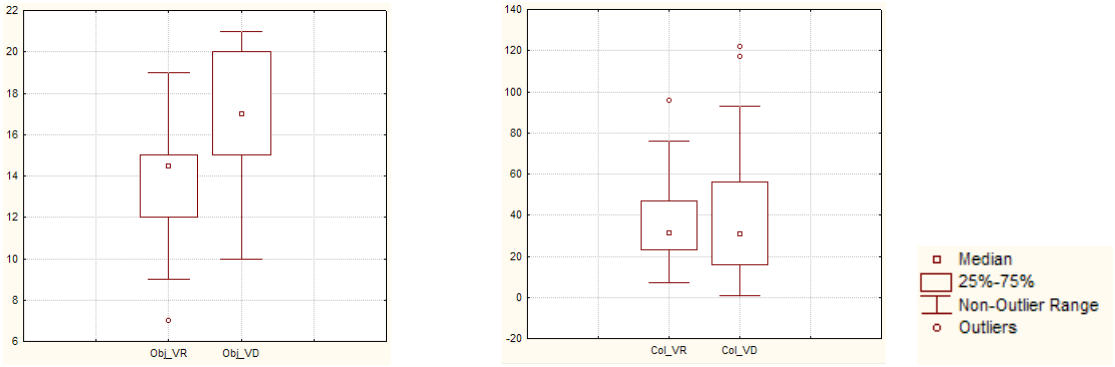


Figura 5-10: Esquerda – nº de objectos apanhados. Direita – nº de colisões.

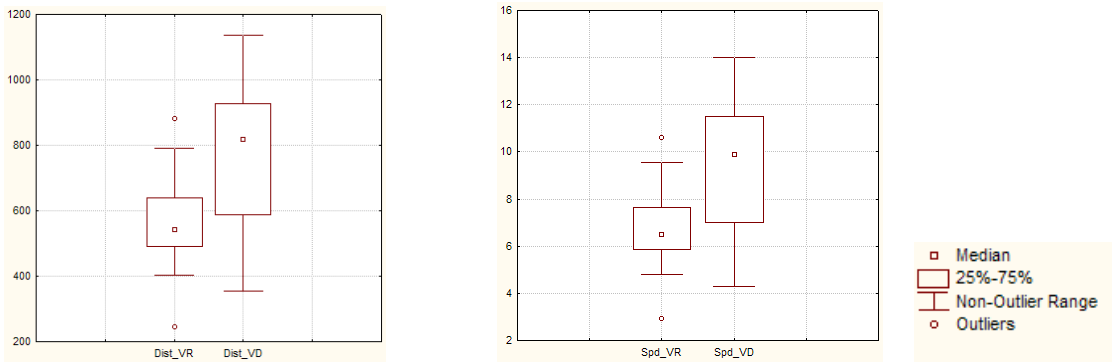


Figura 5-11: Esquerda – distância percorrida. Direita – velocidade média.

Dos 44 utilizadores que testaram o jogo, no ambiente de realidade virtual, nenhum conseguiu alcançar o objectivo de apanhar os 21 objectos, no tempo máximo de 5 minutos. Enquanto que no ambiente *desktop*, 6 conseguiram apanhar todos os objectos dentro deste tempo. Como a diferença não foi grande, assume-se que o jogo em si não era de fácil conclusão, provavelmente por ser um labirinto relativamente complexo e a maioria dos utilizadores não ter conseguido fazer um mapa de orientação mental, navegando aleatoriamente à procura dos objectos.

Quanto às preferências, 14 utilizadores preferiram o ambiente *desktop*, enquanto 27 preferiram o ambiente de realidade virtual, somente 3 foram indiferentes quanto ao ambiente. Acredita-se que os utilizadores preferiram o sistema de realidade virtual por este

ser uma novidade, uma vez que para a maioria dos utilizadores, esta foi a primeira vez que utilizaram os óculos e o *tracker*.

Como se pode inferir a partir dos resultados obtidos, o desempenho dos utilizadores foi melhor no *desktop*. Esse facto reforça a suposição S1, de que a navegação seria mais fácil no ambiente *desktop*, isto pode ser devido à familiaridade que os utilizadores têm com esse tipo ambiente e à dificuldade acrescida de navegar em cenas 3D [Robertson et al. 1997].

Tontura

Dos 44 utilizadores que testaram ambos os ambientes, 24 não sentiram qualquer tipo de tontura, porém 4 sentiram algo nos dois ambientes. Dos 16 restantes, 12 utilizadores sentiram tontura na segunda experiência, sendo que a maioria foi na realidade virtual (11 segundas experiências na realidade virtual e somente 1 segunda experiência no *desktop*), enquanto os outros 4 sentiram tontura logo no primeiro ambiente (sendo todos de realidade virtual). Somente um utilizador se sentiu tonto no ambiente *desktop* e não sentiu nada na realidade virtual (utilizador Virtual_3); este utilizador não conseguiu completar o jogo no *desktop*. Todos os outros utilizadores que sentiram alguma tontura no ambiente *desktop*, iniciaram a experiência pelo ambiente virtual, logo é possível que tenham sentido tonturas devido à primeira experiência realizada com o HMD. Parece, portando, poder concluir-se que a realidade virtual causa mais mal-estar que o ambiente *desktop*, podendo a razão estar relacionada com a falta de hábito com o novo ambiente, o visor estar muito próximo dos olhos e o campo de visão ser menor que o normal. A tabela 5-5 apresenta o resumo destes resultados.

Tontura:
4 sentiram tontura em ambos os ambientes;
12 sentiram tontura na 2º vez que jogaram (sendo 11 RV e 1 DV);
4 sentiram tontura na 1º vez que jogaram (sendo todos na RV);
24 não sentiu nada;

Tabela 5-5: Resumo dos resultados quanto à tontura sentida.

Desorientação *versus* Tontura

Quanto à desorientação, 16 utilizadores não sentiram qualquer desorientação, enquanto 28 sentiram em pelo menos um dos ambientes. Desses 28 utilizadores, 3 não sentiram desorientação na realidade virtual, mas sentiram no ambiente *desktop*, os outros 25 sentiram desorientação no ambiente de realidade virtual (10 sentiram nos dois ambientes e

15 somente no ambiente virtual). Logo, a realidade virtual também parece deixar os utilizadores mais desorientados que o sistema *desktop*. Muitos atribuíram isto aos movimentos bruscos que necessitavam realizar para se desenrolar dos cabos.

Ao cruzarmos os dados da desorientação com os da tontura, percebemos que dos 28 utilizadores que sentiram desorientação em pelo menos um dos dois ambientes, 13 sentiram desorientação e tontura, sendo que somente 1 não sentiu tontura na realidade virtual. Os outros 15 sentiram desorientação, mas não sentiram tontura. Dos 16 utilizadores que não sentiram qualquer desorientação, 9 não sentiram tontura, enquanto os outros 7 sentiram tontura na realidade virtual com excepção de 1 que sentiu um pouco no *desktop*. A tabela 5-6 resume estes resultados.

Desorientação:
16 utilizadores não sentiram qualquer desorientação;
28 utilizadores sentiram desorientação em pelo menos um dos ambientes.
Desses 28 utilizadores:
3 não sentiram desorientação na RV, mas sentiram no DV;
10 sentiram desorientação igual nos dois ambientes;
15 sentiram desorientação na RV, mas não sentiram nada no DV;
Desorientação x Tontura
13 sentiram desorientação e tontura (1 não sentiu tontura na RV, 12 sentiram na RV [1 DV/ 3 DV+RV/ 9 RV]);
15 sentiram desorientação, mas não sentiram tontura.
Dos 16 que não sentiram desorientação alguma:
9 não sentiram nem desorientação nem tontura;
7 sentiram tontura na RV e nada no DV, excepto 1 que sentiu um pouco no DV.

Tabela 5-6: Resumo dos resultados quanto à tontura e desorientação.

Tendo em consideração o exposto, parece poder-se concluir que o ambiente de realidade virtual provoca mais tontura e desorientação do que o ambiente *desktop* tradicional.

Objectos apanhados

34 utilizadores tiveram alguma dificuldade em apanhar os objectos. Destes, 15 tiveram dificuldade somente no ambiente de realidade virtual, 11 somente no *desktop* e 8 nos dois ambientes. Apenas 10 utilizadores não sentiram qualquer problema. A maior parte das dificuldades em apanhar objectos ocorreu na 2ª vez que jogaram, logo, de uma forma

qualitativa, uma vez que as conclusões estão baseadas nas opiniões dos utilizadores, o factor aprendizagem não foi verificado nesta acção. A tabela 5-7 resume estes resultados.

Objectos apanhados:
10 utilizadores não tiveram qualquer problema em apanhar objectos;
15 tiveram dificuldade somente na RV (9 na 2º jogada/ 6 na 1º jogada);
11 tiveram dificuldades somente do DV (7 na 2º jogada/ 4 na 1º jogada);
8 utilizadores sentiram dificuldades em ambos os ambientes.

Tabela 5-7: Resumo dos resultados quanto à dificuldade em apanhar objectos.

Ao observar a quantidade de objectos que os utilizadores não conseguiram apanhar na primeira tentativa, observamos que na realidade virtual houve até 10 objectos sem serem apanhados na primeira tentativa, enquanto no *desktop* foram somente 6 objectos.

Navegação

A navegação em si foi fácil em ambos os ambientes, 26 utilizadores não tiveram qualquer problema em percorrer os corredores. Dos 18 restantes, 8 tiveram problemas somente na realidade virtual e 9 somente no *desktop*. Um facto interessante é que os utilizadores tiveram mais dificuldades na segunda vez que jogaram.

Visualização

A visualização dos objectos e do ambiente também foi fácil para a maioria dos utilizadores, 38 disseram que não tiveram qualquer dificuldade, somente 6 (1 no *desktop*, 3 na realidade virtual e 2 em ambos os ambientes) declararam ter tido dificuldade em visualizar os objectos.

Apesar da principal variável independente desta experiência ser o ambiente de teste (RV ou DV), algumas variáveis secundárias relativas aos utilizadores (sexo, experiência com jogos de computador e experiências com dados ou modelos 3D) também podem ter influenciado os resultados obtidos. Uma vez que a correlação entre a distância percorrida e a velocidade média em ambos os ambientes foi alta (1 para RV e 0,96 para DV) somente uma foi considerada para determinar em que medida o número de objectos apanhados e a velocidade média foram influenciados pelo factor experiência com jogos, experiência com modelos 3D e sexo.

Com o intuito de observar a influência dessas variáveis, os utilizadores foram classificados de acordo com a experiência exposta nas respostas dos questionários. Foram divididos em dois grupos quanto à experiência em jogar (não experiente-0, experiente-1), enquanto que foram divididos em três grupos quanto à experiência com dados 3D (nada-0, pouco-1 e muito experiente-2).

Observando os *box-plot* da figura 5-12, pode-se constatar que, no ambiente de RV, os valores do número de objectos apanhados e da velocidade média, não variaram muito entre os grupos não experientes e experientes. No entanto, não acontece o mesmo para o ambiente *desktop*, confirmando-se através dos testes que os utilizadores com experiência apanharam significativamente mais objectos (p=0,01) e tiveram velocidades médias mais altas (p=0,04) quando comparados com os utilizadores não experientes.

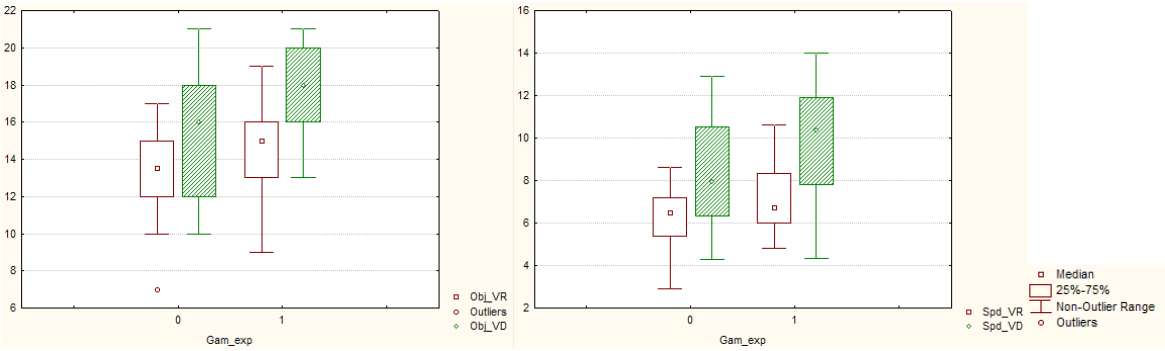


Figura 5-12: Nº de objectos apanhados (esquerda) e velocidade média (direita) classificados quanto à experiência em jogos de computador.

Observando os grupos divididos de acordo com a experiência com dados 3D (ver figura 5-13), o número de objectos apanhados pelos utilizadores em ambos os ambientes (RV e DV), não foi influenciado pela experiência com dados 3D. Contudo, a velocidade média foi influenciada pela experiência 3D no ambiente *desktop*. Estes resultados foram confirmados estatisticamente através de testes que rejeitaram a igualdade entre as medianas (Kruskal-Wallis: p=0,03 para RV e p=0,004 para DV).

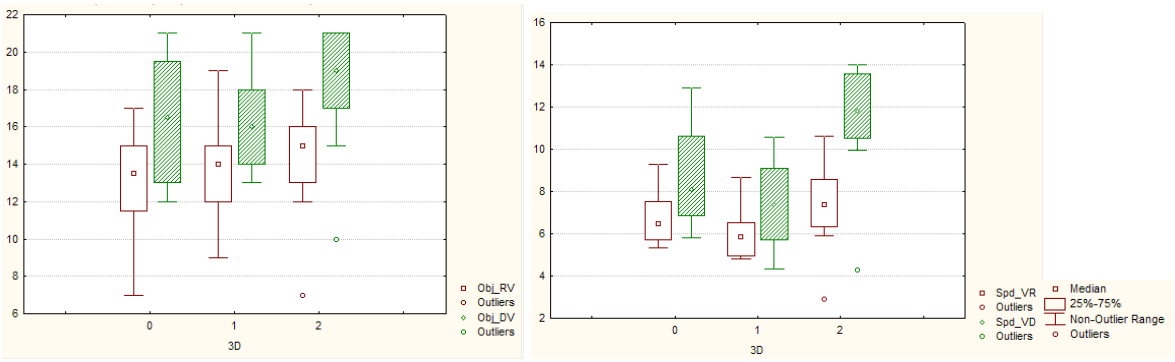


Figura 5-13: Nº de objectos apanhados (esquerda) e velocidade média (direita) classificados quanto à experiência em visualizar dados 3D.

Com relação aos grupos divididos pelo sexo (masculino e feminino), ambos os grupos tiveram desempenhos similares no ambiente de RV, contudo no ambiente DV, os homens foram melhores que as mulheres tanto no número de objectos apanhados, quando na velocidade média (ver figura 5-14). No entanto, estes resultados podem ser devidos ao facto dos participantes do sexo masculino da amostra terem, em geral, mais experiência com jogos de computador quando comparados com os participantes do sexo feminino.

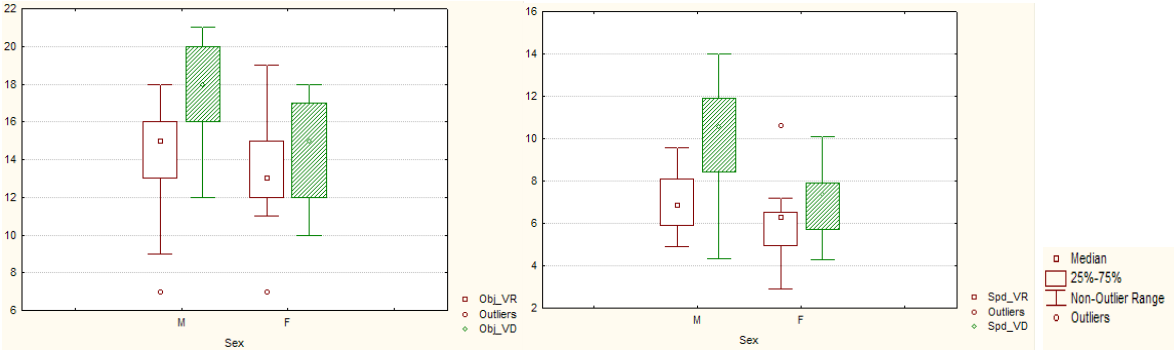


Figura 5-14: Nº de objectos apanhados (esquerda) e velocidade média (direita) classificados pelo sexo.

Com relação ao factor aprendizagem entre a primeira e a segunda vez que jogaram (metade dos utilizadores iniciaram pelo ambiente DV e a outra metade pelo ambiente de RV) era de esperar que, na segunda vez que jogaram, os utilizadores aumentassem a velocidade e o número de objectos apanhados, corroborando a suposição S2.

Foram realizados testes de Mann-Whitney, para observar se as diferenças entre as medianas são estatisticamente significantes. Contrariando a suposição S2, os resultados obtidos mostram que só existiu factor aprendizagem numa situação, que foi na velocidade média, uma vez que os utilizadores atingiram velocidades mais altas na segunda vez que jogaram, quando comparado com os utilizadores que jogaram no mesmo ambiente pela

primeira vez. O factor aprendizagem existe em ambas as direcções (do ambiente DV para o ambiente de RV e vice-versa) (ver figura 5-15 e 5-16).

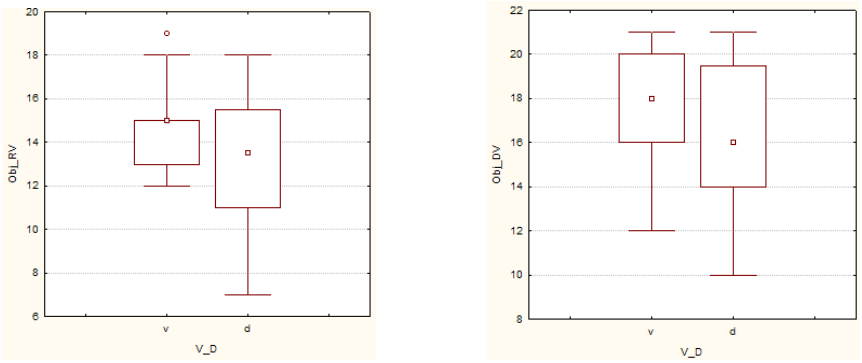


Figura 5-15: Nº de objectos apanhados no ambiente RV (esquerda) e no ambiente DV (direita) classificados pelo ambiente utilizado primeiro (v - RV e d – *desktop*).

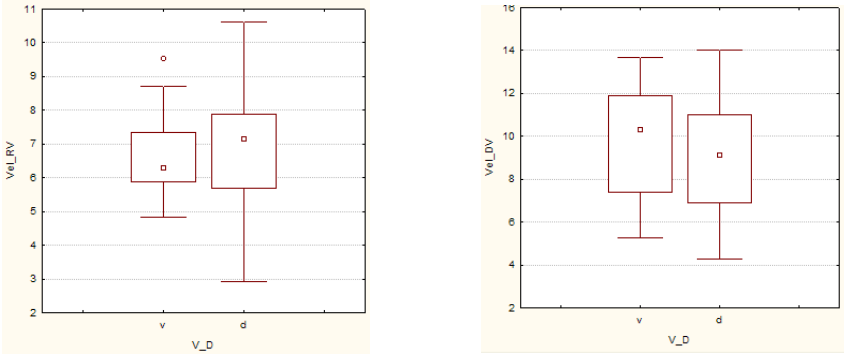


Figura 5-16: Velocidade média no ambiente de RV (esquerda) e no ambiente de DV (direita) classificados pelo ambiente utilizado primeiro (v – RV e d – *desktop*).

Sendo assim, podemos concluir que o desempenho global foi melhor no ambiente *desktop* tradicional. No entanto, esse resultado pode dever-se ao facto dos utilizadores estarem habituados a utilizar a configuração tradicional para jogar jogos de computador, enquanto o ambiente de realidade virtual era uma novidade. Apesar disso, alguns desempenhos não foram tão diferentes, como por exemplo a diferença entre as medianas dos objectos apanhados que variaram entre 14,5 para 17. Sendo que em alguns casos, aqueles utilizadores que não estão habituados a jogar, tiveram desempenhos melhores no ambiente de realidade virtual (apanharam mais objectos).

Logo, alguns utilizadores acreditam que o ambiente de realidade virtual é mais natural e intuitivo que o *desktop*, uma vez que, qualitativamente, aqueles que não têm hábito de jogar em computador expressaram ter sentido mais dificuldades em conciliar os movimentos do teclado e rato do que na utilização do rato e HMD (ver anexo "Corredores"). Os utilizadores que estão habituados a jogar, no geral não sentiram

dificuldades em navegar seja na realidade virtual, seja no *desktop*. Enquanto que, quantitativamente, o que se pôde observar é que apesar da tecnologia de realidade virtual ser relativamente nova para os utilizadores, o desempenho não foi tão distinto de um ambiente para o outro (RV e DV). Aqueles que não estão habituados a jogar, tiveram praticamente o mesmo desempenho nos dois ambientes, sendo que por vezes chegaram a ter desempenhos tão bons quanto no ambiente *desktop*.

5.4 Experiências no Ambiente de Realidade Aumentada

5.4.1 Descrição

Como já foi definido anteriormente, os ambientes de realidade aumentada combinam cenas reais com cenas geradas por computador, sendo possível a visualização de dados, modelos e meta informação [Pan et al. 2005]. O tipo de realidade aumentada utilizada, neste trabalho, é um dos mais comuns: *Video See-Through*, que utiliza um HMD convencional para exibir os elementos virtuais e as imagens captadas pela câmara. Além do HMD, o utilizador manipula um marcador que interage com os dados do ambiente virtual. Na linguagem técnica, o marcador é denominado *Tangible User Interface* (TUI) [Fjeld et al. 2001]. O marcador é detectado pela câmara, determinando, assim, a orientação dos dados e pode ser manipulado para qualquer posição, desde que a câmara consiga detectar o marcador completo.

A experiência realizada consiste em mostrar a diferentes utilizadores dados referentes ao seu campo de conhecimento e recolher suas opiniões. Também neste caso se compararm dois ambientes de teste: Realidade Aumentada (RA) e *Desktop* Aumentado (DA). A RA é composta pelo HMD, *tracker*, câmara sem fios e o marcador, enquanto o DA é composto pelo ecrã do computador, o marcador e uma câmara *web* que pode ser manipulada em volta do marcador. Dois diferentes tipos de dados foram analisados em ambos os ambientes:

1. Dados Mecânicos: dados representativos do fluxo de água em volta do casco de um navio;
2. Dados Médicos: dados representativos do fluxo de energia dentro de um cérebro e dados de pulmões com uma determinada patologia.

Os objectivos específicos desta experiência consistiram em comparar os dois ambientes propostos no que se refere à visualização das representações dos dados 3D e manipulação e interacção do marcador. O marcador pode ser considerado um instrumento de interacção,

devido à sua característica real e tangível, uma vez que pode ser segurado e manipulado. A interacção com o marcador permite a análise dos objectos virtuais quanto à determinação de detalhes físicos e volume, considerando-se uma interacção intuitiva entre o utilizador e o objecto virtual.

A tarefa proposta em ambos os ambientes é uma tarefa do tipo "Olhar para Dentro" (*Looking-In*), que consiste no utilizador visualizar e manipular o mundo virtual de "Fora para Dentro" (*Outside In*) e interagir com o objecto virtual que é menor que o seu corpo, enquadrando-se no visor (tanto do HMD, quanto do ecrã do *desktop*) [Demiralp et al. 2006].

5.4.2 Metodologia de Avaliação

A metodologia de avaliação aplicada utilizou técnicas qualitativas, que, como já foi dito anteriormente, e consistiu em pedir ao utilizador que visualizasse os dados e, durante ou ao final da experiência, exprimisse a sua opinião sobre o sistema. O avaliador podia estabelecer comunicação, através de contra-argumentos e comentários, sendo que no final pedia aos utilizadores que exprimissem as suas preferências.

5.4.3 Suposições

As suposições gerais pensadas antes de iniciar qualquer uma das visualizações dos dados foram:

S1 – Os utilizadores irão preferir a visualização dos dados no ecrã do computador ao invés do HMD, isto porque a resolução, brilho e contraste são melhores no primeiro.

S2 – A manipulação e interacção dos dados no HMD será mais fácil porque os utilizadores têm somente uma das mãos ocupadas e para determinar a localização necessitam somente movimentar a cabeça.

S3 – Existirão problemas na detecção dos marcadores, devido às condições de iluminação e contraste do ambiente real onde se encontra o utilizador. O ambiente ideal deve ter uma luminosidade uniformemente distribuída, caso contrário, pode acarretar detecções pouco fiáveis em que objectos no campo de visão real podem ser confundidos com marcadores.

5.4.4 Recolha de Dados

A recolha dos dados foi realizada directamente com utilizadores, através da utilização do sistema. O avaliador teve a possibilidade de acompanhar, em tempo real, o que estava a ser exibido no HMD, isto porque a placa gráfica que envia as imagens para o HMD tem a capacidade de "clonar" as saídas de vídeo, enviando o mesmo sinal tanto para o HMD quanto para o monitor.

5.4.5 Casos Experimentais

Foram desenvolvidas 3 experiências de realidade aumentada, com base em dois tipos de dados: mecânicos e médicos. Em cada experiência procurou-se comparar a visualização dos dados nos dois ambientes propostos (Realidade Aumentada (RA) e *Desktop* Aumentado (DA)), pedindo aos utilizadores que tinham fornecido os dados, e portanto estavam familiarizados com estes, que os analisassem em ambos os ambientes .

Dados Mecânicos

Com base nos dados mecânicos pretende-se analisar o fluxo da água em torno do casco de uma embarcação (ver figura 5-17). Os vectores representam a velocidade da água em torno do casco e a sua cor está relacionada com a pressão medida no ponto de aplicação do vector. Foram criados diferentes tipos de representação destes mesmos dados.

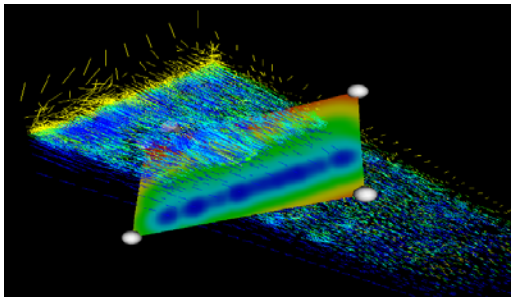


Figura 5-17: Fluxo da água em torno do casco de uma embarcação.

Estes foram:

- Versão original dos dados, conjugados com as imagens da realidade vista de cima;
- Versão ampliada dos dados, contendo somente a parte de interesse, conjugada com as imagens da realidade e vista de lado;
- A mesma versão anterior, porém vista de cima;
- Representação dos dados com fundo preto, sem conjugação com imagens da realidade (sem visualizar os marcadores físicos).

Estas quatro representações foram visualizadas em ambos os ambientes propostos, Realidade Aumentada (RA) (ver figura 5-18) e *Desktop* Aumentado (DA) (ver figura 5-19), possibilitando, assim, que os utilizadores comparassem os ambientes e as formas de manipulação, orientação e visualização dos dados.

Figura 5-18: Ambiente utilizado na RA.

Figura 5-19: Imagem capturada pela câmara *web* e projectada no monitor.

A experiência seguiu a seguinte ordem:

1.	RA com a versão original dos dados conjugados com as imagens da realidade e vista de cima;
2.	RA com uma versão ampliada dos dados conjugados com as imagens da realidade e vista de lado;
3.	RA com a mesma versão anterior, porém vista de cima;
4.	RA com uma representação dos dados com fundo preto, sem marcadores;
5.	DA com uma versão original dos dados conjugados com as imagens da realidade e vista de cima;
6.	DA com uma versão ampliada dos dados conjugados com as imagens da realidade e vista de lado;
7.	DA com a mesma versão anterior, porém vista de cima;
8.	DA com uma representação dos dados com fundo preto, sem marcadores;

Tabela 5-8: Ordem da experiência de realidade aumentada.

Nesta experiência, os dois utilizadores que tinham fornecido os dados foram convidados para testar as 8 situações listadas acima. Um deles é professor no Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro e o outro é estudante de doutoramento. Ambos são do sexo masculino, sendo este o primeiro contacto com um ambiente virtual, não lhes tendo sido facultado nenhum treino. Foi feita uma pequena introdução explicando o objectivo da experiência, os componentes do sistema, o que iriam visualizar e no que consistia o método de avaliação qualitativo.

Após a utilização, os utilizadores mostram-se interessados em aplicar a tecnologia em trabalhos futuros, com outros tipos de dados e sugeriram algumas modificações que pudessem melhorar a visualização dos dados.

Quando a experiência foi planeada, uma das suposições era que os utilizadores poderiam sentir-se perdidos nas situações 4 e 8, (aquelas que têm fundo preto não permitindo a visualização dos marcadores). No entanto, nenhum dos utilizadores enfrentou grandes dificuldades.

A suposição S2 de que a Realidade Aumentada (RA) é mais intuitiva que o *Desktop* Aumentado (DA), no que se refere às questões de manipulação e orientação, foi confirmada pelos utilizadores nesta experiência. Eles acharam que, no ambiente *desktop* aumentado, é mais difícil manter a orientação da câmara *web* em direcção ao marcador, especialmente quando se quer mais detalhes dos dados, além disso, conciliar os movimentos das duas mãos, uma com a câmara *web* e a outra com o marcador é mais difícil do que ter a micro câmara acoplada no HMD, necessitando somente movimentar o marcador. Contudo, corroborando a suposição S1, a visualização dos dados é melhor no *desktop*, devido à resolução, brilho e contraste dos monitores em comparação ao HMD.

As sugestões dadas pelos utilizadores para o sistema foram:

1. Possibilidade de navegar “dentro” dos dados, totalmente imerso no ambiente virtual;
2. Possibilidade de apontar e indicar um dado específico a outro utilizador;
3. Possibilidade de o utilizador se aproximar ou afastar os dados (*zoom in* e *zoom out*);
4. Possibilidade de incorporar um marcador discreto, que não influencie a visualização, nas situações 4 e 8 (fundo preto), apesar dos utilizadores terem afirmado que não se sentiram perdidos em tais situações.

Como consequência das sugestões, duas situações adicionais foram implementadas: uma que adicionava um perfil fino e branco como marcador nas situações 4 e 8 (ver

figura 5-20); e outra na qual, quando o utilizador perdia o marcador e por consequência a visualização dos dados, surgia como fundo a imagem do mundo real ao invés de fundo totalmente preto, permitindo, assim, que o utilizador pudesse ver e encontrar facilmente o marcador real.

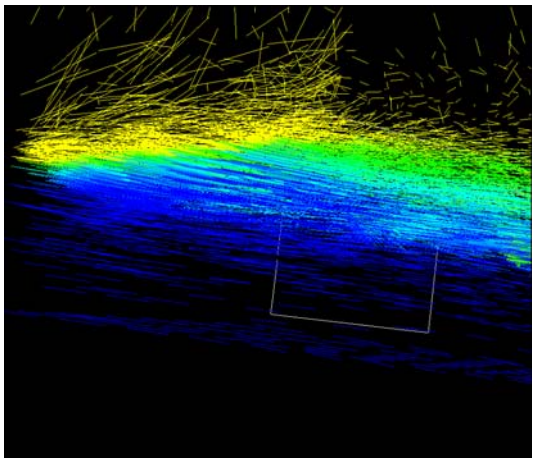


Figura 5-20: Incorporação do perfil sugerido pelos utilizadores.

Essas modificações foram apresentadas aos mesmo utilizadores, que chegaram à conclusão de que o perfil ajuda na manipulação, diminuindo a frequência da perda dos dados, porém quando os dados desaparecem, ver a imagem real, auxilia recuperar os dados mais rápida e facilmente. Logo, a preferência dos utilizadores era reunir essas duas vantagens numa mesma situação.

Com relação à visão estereoscópica, apesar do utilizadores acharem que esta agrega informações interessantes, para estes dados particularmente, não acrescentou melhoria significativa, provavelmente por serem dados vectoriais. Por esta razão não foi possível verificar as ideias dos autores Arthur [Arthur et al. 1993] e Pausch [Pausch et al. 1996] de que a visão estereoscópica aumenta a sensação de profundidade e de que a perspectiva do *head-mounted display* acrescenta mais à sensação de presença que a estereoscopia em si.

Existe um consenso de que a estereoscopia permite visualizar verdadeiras imagens tridimensionais, porém 20% da população é cega estereoscopicamente (*stereo blind*) [Ware 2000]. No entanto, a estereoscopia pode promover o sentido tridimensional dos espaços virtuais e, para certas tarefas, ser extremamente útil. A visão estereoscópica baseia-se no facto do campo de visão de cada um dos olhos ser diferente (em média estão separados 6,4 centímetros), o que significa que o cérebro recebe imagens ligeiramente diferentes, que são utilizadas para determinar a profundidade. Um facto interessante é que nesta experiência,

um dos utilizadores encontrou dificuldades em obter a sensação de profundidade, o que foi solucionado ao diminuir a configuração da distância entre os olhos no sistema.

A conclusão final dos utilizadores foi que, para pequenos períodos de tempo, como por exemplo para mostrar dados a uma pessoa que não esteja com eles familiarizada, a realidade virtual torna a manipulação dos dados mais fácil, uma vez que o sistema proporciona uma interacção mais intuitiva. No entanto, para longos períodos de utilização, o sistema *desktop* aumentado é melhor, principalmente na visualização precisa de dados, tornando-se também menos cansativo.

Dados da actividade eléctrica no cérebro

Através deste dados pretende-se analisar a actividade eléctrica cerebral num dado momento. Do ponto de vista médico o objectivo é localizar as zonas do cérebro que sejam o foco de actividade epiléptica. Procura-se determinar essas zonas através da visualização de dados vectoriais (posição e direcção do vector) correspondente aos dipólos (ver figura 5-21).

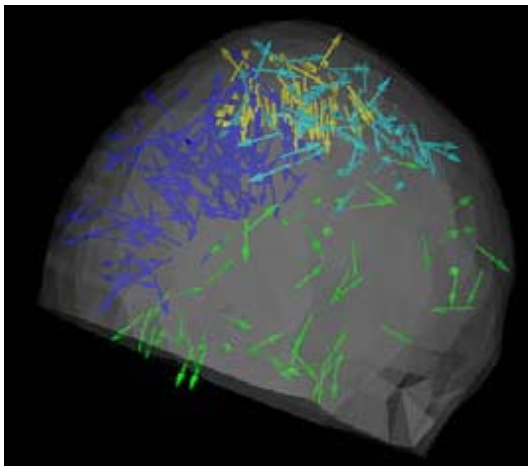


Figura 5-21: Representação dos dados vectoriais correspondentes aos dipolos.

Com base nas sugestões feitas pelos utilizadores da experiência anterior, foram determinadas 4 condições experimentais na seguinte ordem:

1. Sem os marcadores e com o fundo totalmente preto;
2. Com marcadores e conjugada com as imagens do ambiente real;
3. Com o marcador (perfil) e fundo preto tal como mostrado na figura 5-20;
4. Sem marcadores, porém as imagens do ambiente real aparecem para auxiliar o enquadramento do marcador.

A sequência dos testes seguiu a ordem apresentada acima, iniciando-se com o ambiente de realidade aumentada e depois com o *desktop* aumentado. As suposições formuladas foram influenciadas pela experiência da embarcação, algumas mantiveram-se, como a S1 e S2, sendo, respectivamente, a visualização melhor no ecrã do computador ao invés do HMD e a manipulação mais intuitiva no ambiente de realidade aumentada com HMD. Contudo, de acordo com o que foi observado na experiência anterior (embarcação) considerou-se que os utilizadores não encontrariam grandes dificuldades com os modelos sem marcadores e fundo preto. De acordo com a suposição S3 procura-se observar quão intuitivos são o posicionamento e orientação dos braços. Sendo esta a razão de iniciar a experiência com o modelo sem marcadores e com o fundo totalmente preto.

O utilizador convidado para testar as situações propostas é docente no Departamento de Electrónica, Telecomunicações e Informática da Universidade de Aveiro, e trabalha com aplicação médicas, estando habituado a analisar este tipo de dados. Este foi o seu primeiro contacto com um ambiente virtual, como na experiência anterior, não lhe foi facultado nenhum treino, tendo sido dada uma pequena explicação.

O utilizador deparou-se com algumas dificuldades na visualização dos dados sem marcador e com o fundo preto, provavelmente, por ter sido a sua primeira visualização, contrariando o observado na experiência anterior e consequentemente a suposição S3. Teve algumas dificuldades em enquadrar o marcador no campo de visão, o que pode significar que a posição e orientação dos braços não é tão intuitiva, quanto se pensava, sendo provavelmente necessário um treino mínimo. Contudo, dentre as condições experimentadas, o utilizador preferiu a que tem o fundo preto, pois acredita que os marcadores não são essenciais para a visualização. É mais uma questão de hábito com o sistema, sendo de fácil aprendizagem manipular os marcadores, além disso considera que os médicos iriam preferir visualizar os dados sem as imagens do ambiente real, pois estas distraem a atenção.

De acordo com este utilizador, apesar do HMD ser desconfortável, é melhor que a câmara, uma vez que a orientação é mais fácil, pois a micro-câmara está fixa no HMD, sendo somente necessário mover os braços. Quanto à visão estereoscópica, esta acrescenta melhorias na visualização e o utilizador teve uma boa sensação de profundidade.

Contudo, apesar do utilizador ter achado o HMD mais fácil para a visualização de dados, preferiu o ambiente *desktop*. Este utilizador sugeriu que a câmara *web* estivesse fixa em

um único ponto e os marcadores fossem os únicos componentes a serem manipulados. A preferência por este tipo de ambiente deveu-se ao conforto durante o trabalho em longos períodos, uma vez que o utilizador considerou que o ambiente *desktop* proporciona melhores condições em relação a um longo período de utilização em comparação ao ambiente de realidade virtual.

Dados de tomografia axial computorizada (TAC) dos pulmões

O último caso estudado corresponde à visualização da representação de bolhas de ar nos pulmões. A representação 3D deveria permitir ter a noção do volume dos pulmões, do número de bolhas, do volume de cada bolha, do volume total das bolhas e ainda da percentagem do volume ocupado pelas mesmas (ver figura 5-22). Tendo os dados sido visualizados nas seguintes condições:

1. Tendo como fundo a cena real;
2. Tendo fundo preto e sem marcadores;
3. Tendo como fundo as imagens reais com opacidade de 20%;
4. Tendo como fundo as imagens reais com opacidade de 100%.

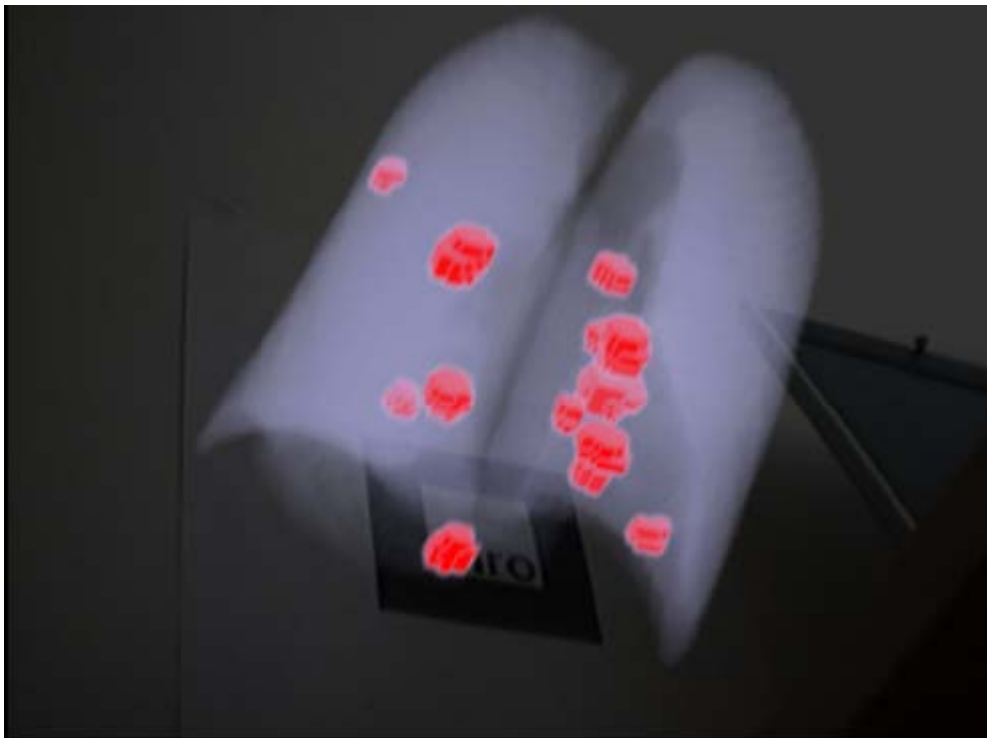


Figura 5-22: Representação dos dados das bolhas de ar pulmonares.

A experiência realizou-se primeiro no ambiente de realidade aumentada, e depois no ambiente *desktop*. Os objectivos, as explicações para os participantes e o método de avaliação foram semelhantes aos das duas experiências anteriores (embarcação e actividade eléctrica no cérebro). Os participantes convidados foram três docentes universitários e um aluno de mestrado habituados a visualizarem dados médicos, todos com conhecimentos de computadores, sendo que dois destes já tinham tido contacto com os ambientes virtuais.

Todos os utilizadores gostaram da sensação de profundidade conseguida pela estereoscopia do HMD e também acreditam que a manipulação no sistema de realidade aumentada com o HMD é mais fácil.

Um dos utilizadores preferiu a situação de teste número dois (sem os marcadores e as imagens reais, somente com o fundo preto). Isto porque o fundo preto possibilita um maior contraste e uma concentração melhor, além disso, este utilizador acredita que todos os utilizadores se podem habituar a manipular os dados sem os marcadores. Ao contrário deste, os outros três utilizadores, não gostaram muito desta situação, pois deixavam de ver os dados com uma certa frequência. Preferiram a situação número três (imagens com opacidade de 20%), devido à possibilidade de se ver o marcador.

Nestes três casos (dados da embarcação, dados da actividade eléctrica do cérebro e dados de tomografia axial computorizada dos pulmões) todos os utilizadores chegaram ao consenso de que o ambiente *desktop* com a câmara *web* é mais complicado de manipular, uma vez que é necessário conjugar o movimento de ambos os braços, além da coordenação mão e olho. No entanto, a manipulação, na realidade aumentada com o HMD, é mais intuitiva. Além disso, os utilizadores concluírem que o sistema de realidade aumentada é interessante para curtos períodos de tempo e para pessoas que não estão familiarizadas com os dados a serem visualizados, porém se tornam cansativos para longos períodos de tempo. Com relação à visualização, esta foi melhor no ambiente *desktop* virtual, uma vez que este apresenta uma melhor resolução e contraste das imagens.

Capítulo 6 CONCLUSÕES

Como já foi dito anteriormente, é evidente o progresso que a realidade virtual e aumentada têm sofrido nos últimos tempos, bem como a sua maior utilização em diversas áreas, uma vez que possuem uma característica multidisciplinar, englobando questões desde a tecnologia até a psicologia. No entanto, apesar deste progresso, as tecnologias de suporte desses ambientes ainda enfrentam desafios, tais como o facto da resolução e o contraste das imagens ainda serem melhores nos ambientes *desktop* tradicional, como também o desconforto e a fadiga provocados pelos HMDs. Outros desafios são o alto custo de aquisição, a necessidade de desenvolvimento de *trackers* e sensores mais precisos, bem como de sensores e actuadores que permitam o controle de todas as sensações do corpo.

O objectivo principal desta dissertação foi verificar a possibilidade da utilização de métodos gerais de avaliação de usabilidade, inicialmente concebidos para os ambientes 2D, em ambientes de realidade virtual e aumentada. Para alcançar tal objectivo foi realizado um levantamento bibliográfico sobre as principais características da realidade virtual e aumentada, sobre a usabilidade e as suas formas de avaliação. Após o levantamento bibliográfico, foi realizado um trabalho experimental com o intuito de testar a aplicabilidade dessas técnicas em ambientes virtuais e aumentados, tendo-se realizado duas experiências: uma num ambiente de realidade virtual e outra num ambiente de realidade aumentada. Nessas experiências procurou-se comparar a usabilidade entre um ambiente de realidade virtual e aumentada e um ambiente *desktop*, bem como as diferenças entre as formas de navegação, visualização, manipulação e orientação em ambos os ambientes.

No que diz respeito ao objectivo principal da dissertação desenvolvida, uma das conclusões alcançadas é que, uma vez que os métodos de avaliação de usabilidade são baseados em paradigmas e princípios gerais, é claramente possível a sua aplicação em ambientes de realidade virtual e aumentada. Sendo necessário, como em qualquer avaliação, observar as características específicas de cada aplicação, as experiências que se procuram proporcionar aos utilizadores, o tipo de trabalho requerido (individual ou em grupo), as diferentes características que cada dispositivo de entrada ou saída tem (*tracker*, sensores, HMD, mesa virtual, monitor estereoscópico), bem como observar os objectivos a serem alcançados, a fase de aplicação (se a técnica é recomendada para a fase de projecto ou implementação do sistema), o local de aplicação (laboratório ou em campo), as

hipóteses pensadas, as características físicas e psicológicas dos utilizadores, os resultados (qualitativos ou quantitativos) e as influências externas existentes. Com base nestas características, é possível escolher o(s) método(s) que melhor se adeqúe(m) à situação a ser avaliada. Contudo, devido a variedade de factores que influenciam os ambientes de realidade virtual e aumentada, é muito difícil definir métodos, padrões, normas e directivas únicas de avaliação de usabilidade, sendo normal a conjugação de diversos métodos numa mesma avaliação. Cada método de avaliação de usabilidade tem os seus pontos positivos e negativos, que variam de acordo com a aplicação e os objectivos a serem alcançados. A conjugação de dois ou mais métodos pode assim permitir melhorar a avaliação, uma vez que os métodos usados se podem complementar.

No que diz respeito às conclusões específicas da parte experimental, no ambiente virtual (jogo), observou-se que o desempenho global dos utilizadores foi melhor no ambiente *desktop* tradicional. Contudo, esse resultado pode ter sido influenciado pelo facto dos utilizadores terem utilizado uma configuração padrão na interacção de jogos de computador (*desktop* tradicional), comparada com um ambiente que eles nunca utilizaram antes (realidade virtual com o HMD). No entanto, como foi visto no capítulo 5, o desempenho de alguns utilizadores nos dois ambientes não apresentaram grandes diferenças. Outro ponto interessante é que os jogadores que não jogam jogos de computador sentiram mais dificuldades em coordenar os movimentos do teclado e rato (*desktop* tradional) em comparação com os movimentos do rato e o HMD (realidade virtual), o que pode indicar que o ambiente de realidade virtual é mais natural e intuitivo para utilizadores que não estão familiarizados com nenhum dos ambientes.

Relativamente à experiência de realidade aumentada, a maior parte dos utilizadores preferiu o sistema com o HMD, uma vez que este oferece uma interacção mais fácil e intuitiva quando comparado com o ambiente *desktop*. Os utilizadores consideraram que o sistema de realidade aumentada é particulamente interessante para curtos períodos de tempo e para pessoas que não estão familiarizadas com os dados a serem visualizados, isso porque a manipulação dos dados é mais fácil, não sendo necessário aprender a interagir especificamente com um *hardware* ou *software*. Porém, para longos períodos de visualização este ambiente é mais cansativo.

Para concluir, as experiências mostraram que os ambientes de realidade virtual e aumentada podem oferecer uma interacção mais natural e intuitiva aos utilizadores apesar

de todas as limitações tecnológicas. Num trabalho futuro, poder-se-ia incorporar outros tipos de tecnologia 3D ou um *hardware* melhor, com melhores características, como por exemplo um *head-mounted display* e rato sem fios e/ou um *head-mounted display* com melhor resolução e contraste de cores, para assim observar se os desempenhos dos utilizadores seriam superiores no ambiente de realidade virtual e aumentada quando comparados com os ambientes *desktop*. Outro ponto que poderia ser modificado nas experiências é a definição das tarefas a serem desenvolvidas. As tarefas deveriam ser mais bem definidas e estruturadas, diminuindo a quantidade de variáveis a serem observadas, o que permitiria a aplicação de outras técnicas de avaliação como por exemplo o *Cognitive Walkthrough*, que requer uma revisão detalha da sequência das acções que os utilizadores são obrigados a realizar para finalizar a tarefa.

Em face do exposto, pode-se concluir que, apesar da tecnologia de realidade virtual e aumentada ter cada vez mais aplicação prática devido às suas vantagens de imersão (através da estimulação dos sentidos), interacção e manipulação intuitivas e fáceis, não se perspectiva que venha a existir uma substituição completa do sistema *desktop* pelos sistemas de realidade virtual e aumentada. A razão disto não está relacionada com o avanço da tecnologia, mas sim com a aplicação a ser estudada e com as diferenças que cada um desses sistemas podem oferecer quanto à forma de apresentação e visualização da realidade virtual.

Referência Bibliográfica

[ABNT 2002] ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. *Requisitos Ergonômicos para Trabalho de Escritórios com Computadores*, parte 11 - Orientações sobre Usabilidade, NBR 9241-11. 2002.

[Adams 1994] L. Adams. *Visualização e realidade virtual*, Ed. Makron Books, pp. 225-259, São Paulo. 1994.

[Arthur et al. 1993] Kevin W. Arthur, Kellogg S. Booth e Colin Ware. *Evaluating 3D Task Performance for Fish Tank Virtual Worlds*, ACM Transactions on Information Systems vol. 11, nº3, pp. 239-265. 1993.

[Azuma 1997] Ronald T. Azuma. *A Survey of Augmented Reality*, em Presence: Teleoperators and Virtual Environment, vol. 6, nº 4, pp. 355-385. 1997.

[Azuma et al. 2001] R. Azuma, Y. Baillot, R. Behringer, S. Feiner, S. Julier, B. MacIntyre. *Recent Advances on Augmented Reality*, IEEE Computer Graphics and Applications, vol. 21, nº 6, pp. 34-47. 2001.

[Billinghurst et al. 1999] M. Billinghurst e H. Kato. *Collaborative Mixed Reality*, Proceedings of International Symposium on Mixed Reality (ISMR'99), pp. 261-284. 1999.

[Bowman et al. 1999] Doug A. Bowman, Donald B. Johnson e Larry F. Hodges. *Testbed Evaluation of Virtual Environment Interaction Techniques*, VRST 99 London UK, ACM Press, pp. 26-33. 1999.

[Bowman et al. 2001] Doug A. Bowman, Vinh Q. Ly e Joshua M. Campbell. *Pinch Keyboard: Natural Text Input for Immersive Virtual Environment*, Technical Report Virginia Tech Dept. of Computer Science. 2001.

[Bowman et al. 2001a] Doug A. Bowman, Ameya Datey, Umer Farooq, Young Sam Ryu e Omar Vasnaik. *Empirical Comparisons of Virtual Environment Displays*, Technical Report vol.01, nº 19, Dept. de Ciência da Computação. 2001.

[Brooks 1999] Frederick P. Brooks. *What's Real about Virtual Reality?*, IEEE Computer Graphics and Applications, pp. 16-27. 1999.

[Burdea et al. 2003] Grigore C. Burdea, Philippe Coiffet. *Virtual Reality Technology*, John Wiley & Sons, Inc., 2º edição. 2003.

[Burkhardt 2006] Jean-Marie Burkhardt. *Evaluation Methods in User-Centred Design of Virtual Environments: current practices and some perspectives in cognitive ergonomics*, 2º INTUITION International Workshop. 2006.

[Chevassus et al. 2006] Nicolas Chevassus, Francois Guillaume e Guillaume Drieux. *Aerospace Applications of Virtual Reality: Overview and Perspectives*, 2º INTUITION International Workshop. 2006.

[Cruz et al. 2005] Mario Cruz e Paulo Moreira. *Desenvolvimento de um Ambiente para Realidade Virtual e Aumentada*, Projecto Final da disciplina Porjecto 5º ano da Licenciatura em Engenharia de Computadores e Telemática da Universidade de Aveiro. 2005.

[Demiralp et al. 2006] Cagatay Demiralp, Cullen D. Jackson, David B. Karelitz, Song Zhang e David H. Laidlaw. *CAVE and Fishtank Virtual-Reality Displays: A Qualitative and Quantitative Comparison*, IEEE Transaction on Visualization and Computer Graphics, vol. 12, nº 3, pp. 323-330. 2006.

[Dix et al. 2004] Alan Dix, Janet Finlay, Gragory D. Abowd, Russell Beale. *Human-Computer Interaction*, Prentice-Hall Europe, 3ª edição. 2004.

[Dodgson 2005] Neil A. Dodgson. *Autostereoscopic 3D Displays*, IEEE Computer Society, pp. 31-36. 2005.

[Favalora 2005] Gregg E. Favalora. *Volumetric 3D Displays and Application Infrastructure*, IEEE Computer Society, pp 37-44. 2005.

[Fischer et al. 2006] Jan Fischer, Douglas Cunningham, Dirk Bartz, Christian Wallraven, Heinrich Bulthoff e Wolfgang StraBer. *Measuring the Discernability of Virtual Objects in Conventional and Stylized Augmented Reality*, 12º Eurographics Symposium on Virtual Environments, The Eurographics Association. 2006.

[Fischer et al. 2006a] Jan Fischer, Michael Eichler, Dirk Bartz e Wolfgang StraBer. *Model-based Hybrid Tracking for Medical Augmented Reality*, 12º Eurographics Symposium on Virtual Environments, The Eurographics Association. 2006.

[Fjeld et al. 2001] M. Fjeld, N. Ironmonger, S. Guttormsen Schar e H. Krueger. *Design and Evaluation of four AR Navigation Tools Using Scene and Viewpoint Handling*, Proceedings of INTERACT 2001, Tokyo, Japão. 2001.

[Foxlin 2002] Eric Foxlin. *Motion Tracking Requirements and Technologies*. Em Handbook of Virtual Environment Technology, Lawrence Erlbaum Associates. 2002.

[Frohlich et al. 2006] Bernd Frohlich, Jan Hochstrate, Alexander Kulik e Anke Huckauf. *On 3D Input Devices*, IEEE Computer Graphics and Applications, pp. 15-19. 2006.

[Gaia 2006] Enrico Gaia. *Panel "VR in Engineering Design and Development"*, 2º INTUITION International Workshop. 2006.

[Heim 1994] Michael Heim. *The Metaphysics of Virtual Reality (The Essence of Virtual Reality)*, Oxford University Press, pp. 108-128. 1994.

[Hoaglin et al. 1983] D. Hoaglin, F. Mosteller e J. Turkey. *Understanding Robust and Exploratory Data Analysis*, John Wiley & Sons. 1983.

[Huussen et al. 2006] Frank van Huussen, Pauline van der Horst e Jan-Willen Baggerman. *Augmented & Virtual Reality: Development of applications for a usability study*, Bachelor project IN3700 of TU Delft, The Netherlands. 2006.

[Johnson 1998] Cris Johnson. *Why ´Traditional´ HCI Techniques Fail to Support DesktopVR*, The Institution of Electrical Engineers (IEE), pp 1-5. 1998.

[Karaseitanidis et al. 2006] Ioannis Karaseitanidis, Armin Weiss, Andreas Werner e Angelos Amditis. *Trends in VR tracking*, 2º INTUITION International Workshop. 2006.

[Kolsch et al. 2002] Mathias Kolsch e Matthew Turk. *Keyboard without keyboards: A survey of Virtual Keyboards*, UCSB Technical Report. 2002

[Lovine 1995] Jonh Lovine. *Step into Vitual Reality*, Windcrest/McGraw-Hill. 1995.

[Mark et al. 1994] Robert L. Mark e Jakob Nielsen. *Usability Inspection Methods*, John Willey & Sons Inc. 1994.

[Marsh 1999] Timothy Marsh. *Evaluation of Virtual Reality Systems for Usability*, Doctoral Consortium CHI, Oxford University Press, pp. 15-20. 1999.

[McCaul et al. 2004] Barry McCaul e Alistair Sutherland. *Predictive Text Entry in Immersive Environments*, Proceedings of the 2004 Virtual Reality, IEEE Computer Society, pp. 241-242. 2004.

[Meyhew 1992] D. Meyhew. *Principles and Guidelines to Software Interface Design*, Prentice-Hall. 1992.

[Milgram et al. 1994] Paul Milgram e Fumio Kishino. *A Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays*, em IEICE Transactions on Information Systems, vol. E77-D, nº 12. 1994.

http://vered.rose.utoronto.ca/people/paul_dir/IEICE94/ieice.html

[Moscovich et al. 2006] Tomer Moscovich e John F. Hughes. *Multi-finger Cursor Techniques*, Graphics Interface, pp. 1-7. 2006.

[Nielsen 1993] Jakob Nielsen. *Usability Engineering*, Academic Press Limited. 1993.

[Paelke 2000] Volker Paelke. *Agents as Building-Blocks for Usability Tests in Multi-User 3D Environments,* Interactive Posters CHI 2000, pp.173-174. 2000.

[Pan et al. 2005] Zhigeng Pan, Adrian D. Cheik, Hongwei Yang, Jiejie Zhu e Jiaoying Shi. *Virtual Reality and Mixed Reality for Virtual Learning Environments*, Elsevier Ltd, pp. 20-27. 2005.

[Patel et al. 2006] Harshada Patel, Mirabelle D´Cruz, Sue Cobb e John R. Wilson. *Methods for Evaluating Virtual Environments: practical guidance*, 2º INTUITION International Workshop. 2006.

[Pausch et al. 1997] Randy Pausch, Dennis Proffitt e George Williams. *Quantifying Immersion in Virtual Reality*, Proc. 24th Ann. Conf. Computer Graphics and Interactive Techniques, pp. 13-18. 1997.

[Perret 2006] Jerome Perret. *Haptic Devices and Virtual Environments*, 2º INTUITON International Workshop. 2006.

[Peternier et al. 2006] Achille Peternier, Fréd´ric Vexo e Daniel Thalmann. *Wearable Mixed Reality System In Less Than 1 Pound*, 12º Eurographics Symposium on Virtual Environments, The Eurographics Association. 2006.

[Pimentel et al. 1993] Ken Pimentel e Kevin Teixeira. *Virtual Reality Through the New Looking Glass*, Windcrest Books. 1993.

[Preece et al. 2002] Jennifer Preece, Yvonne Rogers e Helen Sharp. *Interaction Design, Beyond Human-Computer Interaction,* John Wiley & Sons Inc. 2002.

[Pryor et al. 1998] L. Homer Pryor, A. Thomas Furness e E. Viirre. *The Virtual Retinal Display: A New Display Technology Using Scanned Laser Light*, Em Proceedings of Human Factors and Ergonomics Society, 42nd Annual Meeting, pp. 1570-1574. 1998.

[Robertson et al. 1997] George Robertson, Mary Czerwinski e M. van Dantzich. *Immersion in Desktot Virtual Reality*, Proc. 10 Ann. ACM Symp. User Interface Software and Technology, pp. 11-19. 1997.

[Scerbo 1995] Mark W. Scerbo. *Reserch Techniques in Human Engineering*, Prentice Hall PTR, capítulo 4. 1995.

[Schroeder et al. 1998] W. Schroeder et al. *The Visualization Toolkit – An Object Oriented Approach to 3D Graphics*, 2º ed, Prentice Hall. 1998.

[Shneiderman et al. 2005] Ben Shneiderman e Catherine Plaisant. *Designing the User Interface: Strategies for Effective Human-Computer Interaction*, Pearson Education, Inc. 2005.

[Smit et al. 2066] F. A. Smit, A. van Rhijn e R. van Liere. *GraphTracker: A Topology Projection Invariant Optical Tracker*, 12º Eurographics Symposium on Virtual Environments, The Eurographics Association. 2006.

[Smith et al. 2004] Shamus P. Smith e Tim Marsh. *Evaluating Design Guidelines for Reducing User Disorientation in a Desktop Virtual Environment*, Virtual Reality 2004, Springer-Verlag London Limited. 2004.

[Sutcliffe 2003] Alistair Sutcliffe. *Multimedia and Virtual Reality*, Lawrence Erlbaum Associates Inc. 2003.

[Thibault 2006] Guillaume Thibault. *Panel "VR in Engineering Design and Development"*, 2º INTUITION International Workshop. 2006.

[van Dam et al. 2002] Andries van Dam, David H. Laidlaw, Rosemary M. Simpson. *Experiments in Immersive Virtual Reality for Scientific Visualization*, Computers & Graphics 26, Elsevier Science Ltd, pp. 535-555. 2002.

[Vince 2004] John Vince. *Introduction to Virtual Reality*, Spring-Verlag London Limited. 2004.

[Ware et al. 1993] Colin Ware, Kevin Arthur e Kellogg S. Booth. Fish Tank Virtual Reality, Proceedings Conference Human Factors in Computing Systems, pp. 37-43. 1993.

[Ware et al. 1996] Colin Ware e Glenn Franck. *Evaluating Stereo and Motion Cues for Visualizing Information Nets in Three Dimensions*, ACM Transactions on Graphics, vol. 15 , nº 2, pp. 121-140. 1996.

[Ware 2000] Collin Ware. *Information Visualization: Perception for Design*, Morgan Kaufmann, Publishers. 2000.

[Zajtchuk et al. 1997] Russ Zajtchuk e Richard M. Satava. *Medical Applications of Virtual Reality,* Communications of the ACM, vol. 40, nº 9, pp. 63-64. 1997.

[Zimmermann 2006] Peter Zimmermann. *VR in Engineering Design and Development*, 2º INTUITION International Workshop. 2006.

Referência - Páginas Web (última visita 12/01/2007)

- Chorded keyboard	http://www.handkey.com
- I-Tech Virtual Laser Keyboard	http://www.virtual-laser-keyboard.com/
- Phantom Desktop	http://www.sensable.com
- M1Desk	http://www.fakespacesystems.com/M1Desk.htm
- WingMan Mouse	http://www.logitech.com
- Virtual Retinal Display	http://www.hitl.washington.edu/projects/vrd/
- Diferentes HMD - BOOM - Shutter Glasses	www.stereo3d.com/hmd.htm
- Gyropoint Mouse	http://www.saintmarys.edu/~itrc/gyropointmouse.html
- InterSense IS-900 Precison Motion - 5DT dataglove - Space Traveler - SpaceBall 500 - SpaceMouse	www.5dt.com/products/pis900.html www.5dt.com/hardware.html
- BOOM - Pinch Glove	FakeSpace, http://www.fakespace.com
- InertialCube3	Intersense, http://www.intersense.com
- 3D Mouse e Head Tracker	Logitech , http://www.vrdepot.com/vrteclg.htm
- Fastrak	Polhemus, www.polhemus.com
- Finger Tracking Prototype	Advanced Realtime Tracking GmbH, http://www.ar-tracking.de
- [ARToolkit]	http://www.hitl.washington.edu/artoolkit/
- [ISense]	http://www.isense.com
- [OpenGL]	http://opengl.org
- [VTK]	Visualization Toolkit, http://public.kitware.com/VTK/

Empresas que trabalham com produtos de Realidade Virtual e Aumentada

(última visita 12/01/2007)

www.barco.com	Barco
www.deespona.com	Deespona
www.es.com	Evans and Sutherland Company
www.forcedimension.com	Force Dimension
www.i-glassesstore.com	i-O Display
www.ivri.com	Industrial Virtual Reality, Inc.
www.maxussystems.com	Maxus Systems International
www.microoptical.net	MicroOptical Corporation
www.nngroup.com/	Grupo Nielsen Norman
www.stcsig.org/usability/	Página sobre Usabilidade
www.strayvr.com	StrayLight Corp.
www.useit.com	Página de Jakob Nielsen
www.virtualresearch.com/	Virtual Research Systems, Inc
www.vividgroup.com	Vivid Group
www.vrealities.com	Virtual Realities
www.vrweb.com/	Virtual Presence
www.worldviz.com	WorldViz

Anexo 1

AVALIAÇÃO DE USABILIDADE DE AMBIENTE VIRTUAL

Utilizador Nº -------

Em primeiro lugar, gostaríamos de agradecer a sua participação na realização desta experiência científica. Ao mesmo tempo, esperamos conseguir promover um momento agradável.

Sexo: ( ) Feminino ( ) Masculino

Idade: ( ) até 15 ( ) 16-30 ( ) 31 ou +

Profissão: _____

	Nada	às vezes	Muito
Utiliza o computador:	( )	( )	( )
Utiliza o computador para jogar:	( )	( )	( )
Utiliza imagens tridimensionais:	( )	( )	( )

REALIDADE VIRTUAL (óculos)

	Nada	um pouco	Muito
Sentiu-se tonto durante o jogo?	( )	( )	( )
Sentiu-se desorientado durante o jogo?	( )	( )	( )
Foi difícil apanhar os objectos?	( )	( )	( )
Foi difícil percorrer os corredores?	( )	( )	( )
Foi difícil entrar nas entradas?	( )	( )	( )
Foi difícil ver os objectos?	( )	( )	( )
Gostou de jogar?	( )	( )	( )

Tempo: _____ Velocidade: _____

Número de colisões: _____ Distância percorrida: _____

Número de objectos apanhados:_____

DESKTOP (ecrã)

	Nada	um pouco	Muito
Sentiu-se tonto?	( )	( )	( )
Sentiu-se desorientado durante o jogo?	( )	( )	( )
Foi difícil apanhar os objectos?	( )	( )	( )
Foi difícil percorrer os corredores?	( )	( )	( )
Foi difícil entrar nas entradas?	( )	( )	( )
Foi difícil ver os objectos?	( )	( )	( )
Gostou de jogar?	( )	( )	( )

Tempo: _____ Velocidade: _____

Número de colisões: _____ Distância percorrida: _____

Número de objectos apanhados:_____

QUESTÕES GERAIS

Que dispositivo usou em primeiro lugar?

Desktop(ecrã) ( ) Realidade Virtual (óculos) ( )

Das duas experiências qual foi a sua preferida?

Desktop (ecrã) ( ) Realidade Virtual (óculos) ( )

O que achou dos óculos?

_____

_____

_____

Sugestões:

_____

_____

Anexo 2

Resultados qualitativos extraídos dos questionários preenchidos pelos utilizadores após testarem ambos os ambientes (RV e DV).

	Realidade Virtual	**Desktop**
Sentiu-se tonto em algum momento:		
Nada	25 pessoas (8F, 17M)	39 pessoas (10F, 19M)
Pouco	17 pessoas (3F, 14M)	4 pessoas (1F, 3M)
Muito	2 pessoas (1F,1M)	1 pessoas (1F,0M)
Sentiu-se desorientado em algum momento:		
Nada	19 pessoas (5F,14M)	29 pessoas (6F, 23M)
Pouco	19 pessoas (5F, 14M)	13 pessoas (5F, 8M)
Muito	6 pessoas (2F, 4M)	2 pessoas (1F, 1M)
Dificuldade em apanhar os objecto:		
Nada	21 pessoas (5F, 16M)	25 pessoas (6F, 11M)
Pouco	19 pessoas (5F, 14M)	17 pessoas (5F, 14M)
Muito	4 pessoas (2F, 2M)	2 pessoas (2F, 0M)
Dificuldade em percorrer os corredores:		
Nada	35 pessoas (10F, 25M)	34 pessoas (6F, 28M)
Pouco	6 pessoas (1F, 5M)	9 pessoas (5F, 4M)
Muito	3 pessoas (1F, 2M)	1 pessoas (1F, 0M)
Dificuldade em entrar nas entradas:		
Nada	34 pessoas (9F, 25M)	34 pessoas (7F, 27M)
Pouco	8 pessoas (2F, 6M)	8 pessoas (3F, 5M)
Muito	2 pessoas (1F, 1M)	2 pessoas (2F, 0M)
Dificuldade em ver os objectos:		
Nada	40 pessoas (12F, 28M)	40 pessoas (10F, 30M)
Pouco	2 pessoas (0F, 2M)	4 pessoas (2F, 2M)
Muito	2 pessoas (0F, 2M)	0 pessoas (0F, 0M)
Gostou de jogar?		
Nada	1 pessoas (1F, 0M)	3 pessoas (1F, 2M)
Pouco	4 pessoas (0F, 4M)	9 pessoas (2F, 7M)
Muito	39 pessoas (11F, 28M)	32 pessoas (9F, 23M)

Anexo “Corredores”

	corredores RV	corredores Dkt	Comp_jogar	3D
Virtual_1	nada	nada	as vezes	muito
Desktop_2	muito	nada	nada	as vezes
Virtual_3	nada	pouco	as vezes	nada
Desktop_4	nada	nada	NADA	NADA
Virtual_5	nada	pouco	muito	as vezes
Desktop_6	nada	nada	As vezes	muito
Virtual_7	nada	nada	as vezes	muito
Desktop_8	nada	pouco	NADA	NADA
Virtual_9	nada	pouco	nada	as vezes
Desktop_10	pouco	nada	muito	nada
Virtual_11	pouco	nada	as vezes	muito
Desktop_12	nada	nada	as vezes	nada
Virtual_13	nada	pouco	NADA	NADA
Desktop_14	nada	nada	as vezes	as vezes
Virtual_15	nada	nada	as vezes	nada
Desktop_16	nada	pouco	nada	muito
Virtual_17	nada	nada	as vezes	as vezes
Desktop_18	nada	nada	NADA	NADA
Virtual_19	nada	nada	as vezes	as vezes
Desktop_20	muito	nada	muito	nada
Virtual_21	nada	nada	NADA	NADA
Desktop_22	nada	nada	NADA	NADA
Virtual_23	nada	nada	as vezes	muito
Desktop_24	pouco	nada	NADA	NADA
Virtual_25	nada	nada	as vezes	muito
Desktop_26	muito	nada	NADA	NADA
Virtual_27	nada	nada	nada	as vezes
Desktop_28	nada	pouco	NADA	NADA
Virtual_29	nada	nada	as vezes	nada
Desktop_30	nada	nada	muito	muito
Virtual_31	nada	pouco	nada	as vezes
Virtual_33	nada	nada	muito	as vezes
Desktop_34	nada	nada	as vezes	as vezes
Virtual_35	nada	nada	as vezes	as vezes
Desktop_36	nada	nada	as vezes	muito
Virtual_37	nada	pouco	nada	muito
Desktop_38	nada	nada	NADA	NADA
Virtual_39	pouco	muito	NADA	NADA
Desktop_40	pouco	nada	muito	muito
Virtual_41	nada	nada	NADA	NADA
Desktop_42	nada	nada	as vezes	muito
Virtual_43	nada	nada	as vezes	muito
Desktop_44	pouco	nada	muito	muito
Virtual_45	nada	nada	muito	muito

Quem teve problema em percorrer os corredores num ambiente teve no outro?

26 utilizadores não tiveram qualquer problema em percorrer os corredores (ambas as colunas foram preenchidas com a resposta “nada”)

18 utilizadores tiveram algum problema.

- somente 1 utilizador teve problemas em percorrer os corredores nos dois ambientes (as respostas foram “pouco” e “muito” respectivamente)
- 8 tiveram problemas somente na realidade virtual, destes 7 iniciaram a experência no ambiente *desktop* (na primeira coluna as respostas variaram entre “pouco” e “muito”, enquanto a segunda coluna foi preenchida com “nada”)
- 9 tiveram problemas somente no *desktop,* destes 6 iniciaram na realidade virtual e 3 no *desktop* (a primeira coluna foi preenchida com “nada”, enquanto a segunda coluna com “pouco”)

Ou seja, os utilizadores tiveram mais dificuldades na segunda vez que jogaram.

Quem teve problemas em ambas as situações não tinha hábito de jogar ou visualizar 3D?

Sim, o utilizador que teve problemas em ambas as situações não tinha hábito de jogar ou visualizar dados 3D.

Quantos, dos utilizadores que não tiveram dificuldades em nenhuma das duas situações, não tinham hábito nem de jogar, nem de visualizar imagens 3D?

Dos 12 utilizadores que não tinham hábito de jogar nem de visualizar imagens 3D, 6 utilizadores (D_4; D_18; V_21; D_22;D_38; V_41) não tiveram qualquer dificuldade em ambas as situações.

Dos utilizadores que tiveram problemas, quantos não tinham hábito em jogar nem visualizar imagens 3D?

Dos 12 utilizadores que não tinham hábito de jogar nem de visualizar imagens 3D, 6 utilizadores (D_8; V_13;D_24; D_26; D_28; D_39) tiveram algum problema.

Os utilizadores que não têm hábito de jogar no computador sentiram mais dificuldades em que ambiente?

Dos 18 utilizadores que não têm hábito de jogar no computador:

3 utilizadores (D_2; D_24; D_26) sentiram dificuldade no ambiente de realidade virtual,

8 utilizadores (D_8; V_9; V_13; D_16; D_28; V_31, V_37, D_39) sentiram no ambiente *desktop*,

7 utilizadores não sentiram qualquer dificuldade.