

# Avaliação de Usabilidade em Ambientes de Realidade Virtual: Um Estudo com Utilizadores

Samuel Silva Paulo Dias Beatriz Sousa Santos  
DETI / IEETA  
Universidade de Aveiro  
sss@ua.pt, paulo.dias@ua.pt, bss@ua.pt

Norberto Salgado Luís Capucho Filipe Lino Vitor Carvalho  
DETI  
Universidade de Aveiro

Carlos Ferreira  
DEGEI – Universidade de Aveiro  
CIO – Universidade de Lisboa  
carlosf@ua.pt

---

## Resumo

*Descreve-se um estudo com utilizadores para comparação de um sistema de Realidade Virtual (RV) de baixo custo usando um Head-Mounted Display com um desktop e um outro sistema com projecção de imagem numa tela. Este estudo foi efectuado com a colaboração de 18 participantes sem experiência prévia em ambientes de RV que jogaram o mesmo jogo nas três plataformas. Durante o jogo foram recolhidos dados referentes ao desempenho dos utilizadores; os níveis de satisfação e opiniões foram obtidos através de um questionário. Os resultados mostram que, em geral, os utilizadores não gostaram do sistema usando a tela e apresentaram melhor desempenho no desktop. Isto pode dever-se ao facto de a maior parte dos utilizadores ter já experiência de jogo nessa configuração. É de salientar que os resultados para o HMD não foram muito diferentes dos obtidos nos outros sistemas e que para esta configuração os utilizadores colidiram menos com as paredes.*

## Palavras-Chave

*Realidade Virtual, Head-Mounted Display, Usabilidade*

---

## 1. INTRODUÇÃO

Com o desenvolvimento de novas tecnologias (significando sistemas mais baratos e leves), a Realidade Virtual (RV) começa a ser utilizada em cada vez mais áreas de aplicação. Para além disso, RV não significa necessariamente um sistema estereoscópico imersivo já que muitas aplicações de RV usam, hoje em dia, sistemas baseados em *desktops*.

Apesar do crescente interesse nesta área, existem ainda poucos estudos de usabilidade (ver [Ruddle 04], [Qi 06] e [Prabhat 08] para alguns exemplos), fundamentais para que os sistemas de RV atinjam o seu máximo potencial de aplicação. Estes estudos podem fornecer informação sobre a aplicabilidade de diferentes alternativas e assim auxiliar na implementação de novos produtos de RV.

A família de sistemas denominados RV está em constante evolução e consequentemente os modelos, métodos e teorias relacionadas com os factores humanos envolvidos, re-

ferentes aos sistemas RV e aos Ambientes Virtuais (AV), não têm conseguido acompanhá-la. Para além disso, esta evolução aumentou a gama de potenciais aplicações e, consequentemente, a dificuldade inerente à sua avaliação. A isto acresce a dificuldade de planear e executar estudos empíricos para aferição dos factores humanos dado o elevado número de variáveis envolvidas [Wilson 06].

Ao utilizar um AV, antes de desempenhar qualquer tarefa, os utilizadores devem ser capazes de navegar: determinar a sua localização, definir onde querem ir, planear o caminho a seguir e percorrê-lo. Assim sendo, a navegação é uma das tarefas mais importantes nestes ambientes [Bowman 05]; no entanto, estes ambientes nem sempre são concebidos de modo a ajudar suficientemente os utilizadores nesta tarefa. Por estas razões existe um interesse considerável em perceber como diferentes formas de interacção e características do ambiente podem afectar o desempenho dos utilizadores em configurações como um *desktop* ou um *Head Mounted Display* (HMD). No *desktop* o utilizador interage usando



**Figura 1. Configuração usando um HMD e aspecto do labirinto utilizado como AV.**

dispositivos abstractos de interacção (p. ex., rato e teclado) mas no HMD as mudanças físicas de direcção do utilizador são mapeadas directamente no AV [Ruddle 04].

A importância da navegação em AVs, assim como o interesse em perceber as diferenças entre ambientes imersivos e não imersivos motivaram a comparação da usabilidade de um sistema de RV de baixo custo (usando um HMD e um *tracker* de três graus de liberdade) com um *desktop* e uma configuração onde a imagem era projectada numa tela.

A comparação foi efectuada no âmbito de uma cadeira introdutória de Interacção Humano-Computador oferecida como opção do 5º ano da Licenciatura em Engenharia Electrónica e Telecomunicações da nossa Universidade.

Através de um estudo com utilizadores, projectado e executado como trabalho prático da referida cadeira, foram avaliados o desempenho e satisfação de 18 utilizadores nas três configurações referidas enquanto estes jogavam um pequeno jogo no AV.

Este artigo começa por descrever a experiência. De seguida são apresentados os principais resultados obtidos e definidas algumas linhas de trabalho futuro.

## 2. CONFIGURAÇÕES E AMBIENTE VIRTUAL

O sistema imersivo de RV utilizado consistiu num *Head-Mounted Display* (HMD) i-glasses SVGA Pro com resolução de  $800 \times 600$  pixels, campo de visão de  $26^\circ$ , um sensor de orientação (*tracker*) InterSense InterTrax 2 com três graus de liberdade (*yaw*, *pitch* e *roll*) e um PC com uma placa gráfica nVidia Quadro FXGo 1400 (figura 1). O avanço e recuo era efectuada utilizando um dispositivo de dois botões (frente e trás).

Como mencionado, o estudo efectuada consistiu na comparação do desempenho dos utilizadores nesta configuração e em duas outras, um *desktop* e um sistema em que a imagem foi projectada numa tela, usando um projector comum, e a interacção se fez usando rato e teclado à semelhança do que aconteceu no *desktop*. O *desktop* utilizado possuía um monitor Wide Screen de 19" e resolução  $800 \times 600$  pixels. A tela tinha uma dimensão de  $1.4m \times 1.5m$  e foi colocada a aproximadamente a  $1m$



**Figura 2. Configuração usando um projector de vídeo e uma tela colocada perto do utilizador.**

do utilizador (figura 2).

Como AV foi escolhido um labirinto, uma vez que era simples de construir usando ferramentas existentes e proporcionaria a possibilidade de testar algumas formas de navegação (outros autores também utilizaram labirintos em experiências de navegação [Ruddle 04]). Por outro lado, um cenário de jogo pode ser construído de forma a incorporar diversas tarefas de navegação que os utilizadores desempenham espontaneamente enquanto se fomenta o espírito de competição entre eles. O jogo utilizado neste estudo foi adaptado de um jogo já existente, desenvolvido para um estudo anterior [Dias 07] e baseado num labirinto com diversos corredores parecidos em que os utilizadores tinham de navegar de modo a encontrar 21 objectos (ver figura 1). Estes objectos encontravam-se a flutuar ao nível dos olhos e os utilizadores tinham de colidir com os mesmos recebendo, quando bem sucedidos, um sinal sonoro.

É possível distinguir duas formas fundamentais de navegação em AVs: com gravidade (por exemplo, posicionado no solo), ou em voo. Para este estudo foi escolhida a primeira uma vez que surge como mais natural para os utilizadores e resulta, geralmente, em menos desorientação [Usoh 99]. Estes testes de navegação devem ser compostos de acções simples, como movimentos para a frente em linha recta ou contornar cantos, assim como acções mais complexas tais como passar através de uma porta (que requer uma correcta avaliação das distâncias entre o ponto de vista e a porta) [Griffiths 06]. O AV foi desenvolvido tendo estes requisitos em conta.

A navegação pode ser subdividida nas componentes motora (denominada *travel*) e cognitiva (denominada *wayfinding*). Como metáfora de *travel* foi usada a especificação contínua da direcção do movimento (*steering*), definida através da direcção da cabeça no HMD e através do rato nos restantes configurações. Contudo, a complexidade do labirinto, o facto de os corredores serem muito parecidos e a ausência de auxiliares de

navegação tornam praticamente impossível a construção de um modelo mental do mapa do ambiente. Assim sendo, considerou-se que a maioria dos utilizadores navegaria de forma aleatória pelo labirinto e portanto o seu desempenho estaria fortemente relacionado com *travel* e não com *wayfinding*.

### 3. EXPERIÊNCIA

Foi pedida a colaboração de 18 voluntários (6 mulheres e 12 homens) com idades compreendidas entre os 18 e os 26 anos, a grande maioria alunos da Universidade de Aveiro. Nenhum dos participantes tinha experiência com sistemas de RV e quase todos declararam ter experiência com jogos em configurações *desktop*.

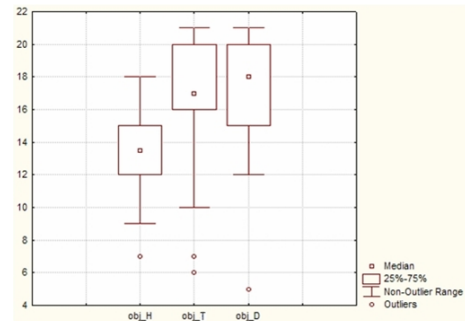
Todos os utilizadores jogaram nas três configurações (HMD, tela e *desktop*). A experiência iniciou-se com uma pequena introdução ao jogo, aos seus objectivos, ao *hardware* utilizado e uma referência ao questionário que deveria ser completado no final da experiência. Os utilizadores foram também informados de que poderiam terminar a sua participação a qualquer momento. Após esta apresentação inicial os participantes começaram a jogar sem qualquer período de treino. Durante o jogo, um observador manteve-se atento ao desempenho de cada utilizador.

Dado que não nos foi possível antecipar quais seriam os resultados da experiência (apesar da revisão bibliográfica efectuada previamente), partiu-se da hipótese mais simples, considerando que o desempenho e satisfação dos utilizadores seriam semelhantes nas três condições avaliadas: HMD, tela e *desktop* (daqui em diante referidos como H, T e D), que são os níveis da nossa variável independente (ou de entrada). Como variáveis dependentes (ou de saída) foram considerados parâmetros relacionados com o desempenho dos utilizadores. Em geral, a saída não depende única e exclusivamente das variáveis de entrada mas também de outras variáveis ditas secundárias. Nesta experiência considerou-se que a experiência prévia na visualização e manipulação de cenas ou objectos tridimensionais, assim como com jogos poderia influenciar o desempenho dos utilizadores tendo-se abordado esses aspectos no questionário distribuído aos utilizadores no final da experiência. Outra possível variável secundária pode ser a experiência obtida pelo utilizador ao jogar em qualquer uma das configurações. Esta experiência e consequente aprendizagem podem resultar num aumento do desempenho à medida que o utilizador joga nas diferentes configurações, pelo que se registou a sequência em que os utilizadores jogaram nas diferentes condições.

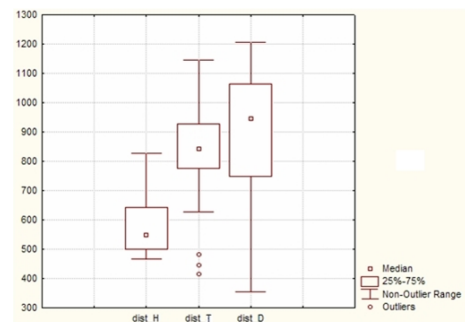
Durante o jogo, os utilizadores tinham de navegar no labirinto virtual e apanhar o maior número possível de objectos (num total de 21 objectos) num tempo máximo de 5 minutos.

O desempenho dos utilizadores foi medido através de um conjunto de medidas quantitativas recolhidas automaticamente durante o jogo: número de objectos colhidos, número de colisões com as paredes do labirinto, distância percorrida e total de tempo de jogo (o utilizador podia

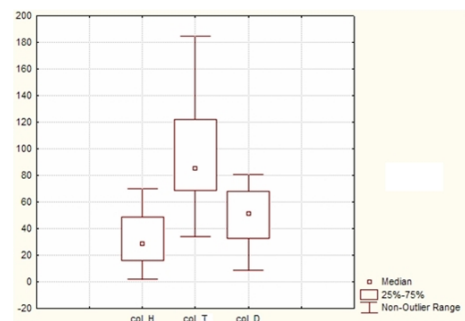
apanhar todos os objectos antes do tempo limite). Para além desta informação os observadores registaram ainda alguns detalhes considerados importantes para caracterizar o desempenho dos utilizadores como o número de vezes que estes não conseguiam apanhar o objecto à primeira tentativa e outras dificuldades.



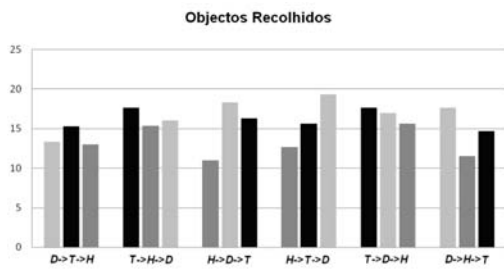
**Figura 3. Diagrama de extremos e quartis apresentando o número de objectos apanhados em cada uma das condições experimentais.**



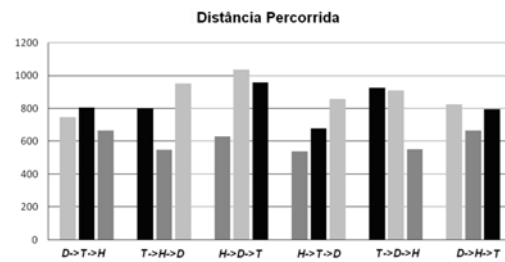
**Figura 4. Diagrama de extremos e quartis apresentando a distância percorrida pelos utilizadores em cada uma das condições experimentais.**



**Figura 5. Diagrama de extremos e quartis apresentando o número de colisões com as paredes do labirinto registado em cada uma das condições experimentais.**



**Figura 6.** Soma dos objectos recolhidos pelos utilizadores que seguiram cada seqüência, para cada condição.



**Figura 7.** Soma da distância percorrida pelos utilizadores que seguiram cada seqüência, para cada uma das condições.

Depois de jogar em todas as condições (H,T e D) os utilizadores responderam a algumas questões de forma a definir o seu perfil (idade, género, experiências com jogos e ambientes tridimensionais, etc.) e obter informação sobre o seu grau de satisfação, preferências e opinião relativamente às diferentes configurações experimentadas. Também foram recolhidos dados relacionados com o desconforto (enjoo / tonturas) tal como sugerido por Bowman et al. [Bowman 01].

Foi seguido o método experimental dentro-de-grupos, ou seja, todos os utilizadores jogaram nas três condições, devido às vantagens que este traz pelo facto de necessitar de menos utilizadores e reduzir os efeitos das diferenças individuais [Dix 04].

No sentido de evitar a possível influência da aprendizagem e fadiga nos resultados obtidos, a ordem em que as diferentes condições foram experimentadas foi variada de utilizador para utilizador havendo seis seqüências experimentais possíveis (p. ex., {H, T, D}, {T, H, D}, etc.). Cada uma destas seqüências foi atribuída aleatoriamente a três dos utilizadores.

#### 4. RESULTADOS

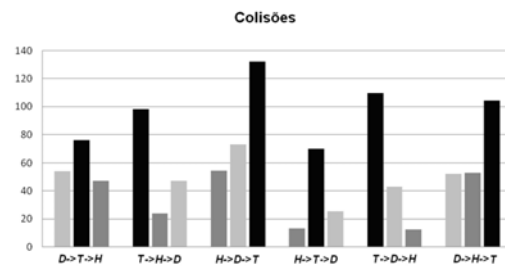
Nesta secção são apresentados os principais resultados obtidos a partir dos dados recolhidos. Devido ao pequeno número de utilizadores foram aplicadas técnicas de Análise Exploratória de Dados e testes não paramétricos usando a ferramenta STATISTICA [Sta08].

##### 4.1. Dados Recolhidos Automaticamente

As figuras 3, 4 e 5 apresentam os diagramas de extremos e quartis [Hoaglin 83] correspondentes aos dados recolhidos automaticamente ao longo do jogo: distância percorrida, número de objectos recolhidos e colisões com as paredes.

Pela observação destas figuras verifica-se que o desempenho na condição H é o que mais difere, sendo os desempenhos nas outras duas condições (T e D) muito próximos entre si.

Analisando a figura 3 pode verificar-se que a mediana do número de objectos apanhados pelos utilizadores na condição H (13.5) foi inferior às medianas registadas nas outras duas condições (17 e 18 para a T e D respectiva-



**Figura 8.** Soma das colisões com as paredes de todos os utilizadores que seguiram cada seqüência, para cada condição.

mente). Usando testes de Wilcoxon [Conover 99], para comparar todas as combinações possíveis de pares de condições, (H, T), (T, D) e (H, D), foram obtidos os valores  $p = 0.007$ ,  $p = 0.046$  e  $p = 0.004$  respectivamente (todos  $< 0.05$ ) o que confirma a diferença significativa (embora menos acentuada entre as condições T e D) de objectos apanhados nas diferentes condições.

A figura 4 mostra que os utilizadores percorreram distâncias menores na condição H (*mediana* = 548) do que nas condições T (*mediana* = 844) e D (*mediana* = 946). Usando novamente testes de Wilcoxon para comparar entre os diferentes pares de condições experimentais, (H, T), (H, D) e (T, D), obtiveram-se os valores  $p = 0.0005$ ,  $p = 0.0004$  ( $p < 0.05$ ) e  $p = 0.08$  ( $p > 0.05$ ), respectivamente, que indicam uma diferença significativa nas distâncias percorridas na condição H em relação às outras condições; contudo a diferença de distâncias entre as condições T e D não foi significativa.

Finalmente, na figura 5 pode verificar-se que o número de colisões é menor na condição H e maior na condição T. As diferenças entre as medianas do número de colisões registado nas diferentes condições foram consideradas significativas para todos os pares de condições experimentais, (H,T), (H,D) e (T,D), com  $p = 0.00002$ ,  $p = 0.0008$  e  $p = 0.0002$  ( $p < 0.5$ ), respectivamente.

No sentido de investigar a influência da experiência adquirida pelos utilizadores ao jogarem nas outras

condições, assim como do cansaço, identificadas como possíveis variáveis secundárias desta experiência, foi efectuado um estudo do desempenho dos utilizadores tendo em conta a sequência das condições em que jogaram.

As figuras 6, 7 e 8 mostram gráficos de barras referentes ao número de objectos apanhados, distância percorrida e número de colisões com as paredes somados para os utilizadores (três) que seguiram a mesma sequência de condições (p. ex., D-T-H, T-D-H, etc.).

Pela observação destas figuras verifica-se que em todas as sequências os observadores apanharam menos objectos na condição H e percorreram maiores distâncias na situação D. Na figura 8 verifica-se claramente que o maior número de colisões se registou para a condição T e o menor para a condição H. Isto confirma os resultados globais apresentados nas figuras 3 a 5, independentemente de qual foi a sequência de condições seguida pelo observador ao longo da experiência, o que parece significar que não se verificou influência significativa da experiência ou fadiga no desempenho dos utilizadores. É no entanto necessário ter em conta que este resultado foi obtido para um número pequeno (3) de utilizadores por sequência pelo que carece de um estudo mais aprofundado.

#### 4.2. Dados Recolhidos por Observação

Para além dos dados referidos na secção anterior, os observadores recolheram ainda informação adicional sobre o comportamento e desempenho dos utilizadores nas três condições experimentais. A análise dessa informação permitiu verificar que 11 dos utilizadores tiveram mais dificuldade em apanhar o objecto à primeira tentativa na condição H e que a condição onde essas falhas menos ocorreram foi a D. Este desempenho poderá estar relacionado, por um lado, com o facto de os utilizadores não terem nenhuma experiência anterior com o sistema de VR e, por outro, com a sua experiência a jogar em *desktops*.

Foram observadas muito menos distrações dos utilizadores enquanto jogavam na condição T o que parece indicar que o seu tamanho e curta distância terá resultado numa maior imersão.

#### 4.3. Dados Recolhidos no Questionário

Depois de jogarem nas três condições experimentais, os utilizadores responderam a um pequeno questionário. Pela análise das suas respostas é possível perceber que 9 dos utilizadores preferiram a condição D, 8 preferiram a condição H, 1 preferiu essas duas de forma igual e 1 preferiu a condição T. Isto é uma clara indicação de que algo de errado se passou com a condição T. Da análise levada a cabo durante a experiência e de conversas com os utilizadores foi possível concluir que o problema principal terá sido uma proximidade excessiva da tela em relação ao utilizador pelo menos no que diz respeito à tarefa em causa. De facto, alguns testes preliminares desta condição pareciam indicar tratar-se de uma distância confortável. Na realidade e após alguma utilização, devido à elevada quantidade de movimento que se regista ao jogar, ocorria fadiga. No entanto, esta parece-nos uma condição muito interes-

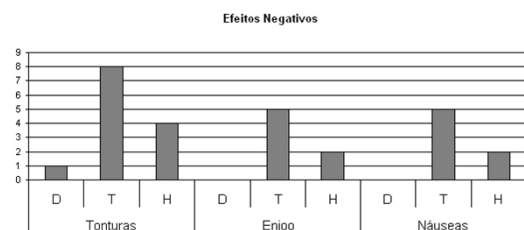
sante (baixo custo e maiores níveis de imersão) e que pretendemos explorar em mais detalhe no futuro no sentido de melhorar a sua usabilidade.

Os valores da mediana para a satisfação e dificuldade, no que respeita a cada uma das condições, e expressa pelos utilizadores numa escala de Likert de 5 níveis (1 – muito insatisfeito, 5 – muito satisfeito e 1 – muito fácil, 5 – muito difícil), são mostrados na tabela 1. Claramente se verifica que os utilizadores acharam a condição D bastante fácil assim como satisfatória enquanto a condição H, apesar de igualmente satisfatória, registou maior dificuldade na utilização. A condição T classificou-se numa posição intermédia, para ambos os critérios. É interessante verificar que apesar de apenas um dos utilizadores ter preferido a condição T a satisfação expressa pelos utilizadores para esta condição foi ainda positiva.

	<i>Desktop</i>	Tela	HMD
<b>Satisfação</b>	4	3	4
<b>Dificuldade</b>	1	2,5	3

**Tabela 1. Medianas dos níveis de satisfação e dificuldade manifestados pelos utilizadores para as diferentes condições experimentais (numa escala de 1 – muito insatisfeito/fácil a 5 – muito satisfeito/difícil).**

Foram também recolhidos dados referentes a efeitos negativos sentidos pelos utilizadores, nomeadamente tonturas, enjoo e náusea. A figura 9 mostra que foi na condição D que os utilizadores menos sentiram estes efeitos negativos contrariamente ao que aconteceu na condição T onde se verificou um número elevado desses efeitos.



**Figura 9. Efeitos negativos registados para as três condições experimentais.**

## 5. CONCLUSÕES E TRABALHO FUTURO

Este artigo descreve um estudo com utilizadores para comparação da usabilidade de três sistemas de RV, um usando um HMD, outro baseado num *desktop* e um terceiro em que a imagem era projectada numa tela. Este estudo foi desenvolvido como experiência controlada com observação e incluiu um questionário para definir o perfil dos utilizadores e recolher o seu nível de satisfação e opiniões sobre os diferentes sistemas.

Os principais resultados deste estudo foram:

- O desempenho dos utilizadores foi, em geral, melhor no *desktop*; contudo, a diferença para as outras configurações não foi muito acentuada (em especial comparando com a tela) e poderá ter sido uma consequência do facto de grande parte dos utilizadores ter experiência de jogo com o *desktop* e nenhuma experiência com HMDs;
- Os utilizadores mostraram-se igualmente satisfeitos com o HMD e com o *desktop* embora tenham tido mais dificuldades com o HMD;
- A tela foi a configuração menos preferida pelos utilizadores tendo-se registado um número considerável de efeitos negativos (náusea, tonturas, etc.).

Apesar dos fracos resultados obtidos para a tela quando comparada com as outras configurações pareceu uma configuração bastante interessante, pelo menos para algumas aplicações, uma vez que permitiu criar um nível elevado de imersão usando apenas um PC e um projector (isto é, a um baixo custo). Espera-se que a alteração da distância da tela ao utilizador e do nível médio de intensidade luminosa da imagem possa permitir uma melhoria considerável da usabilidade desta configuração.

A análise dos resultados obtidos nesta experiência e das opiniões dos utilizadores envolvidos permitiram identificar algumas ideias para trabalho futuro:

- Avaliar as condições em que a tela poderá ser utilizada confortavelmente pelos utilizadores e a variabilidade dessas condições com o tipo de tarefa a desempenhar;
- Avaliar o impacto da utilização de um dispositivo de avanço e recuo com uma configuração mais familiar aos utilizadores (p. ex., um comando de uma consola de jogos) substituindo o dispositivo de dois botões usado na configuração com o HMD;
- Efectuar a experiência com um maior número de participantes de modo a poder avaliar melhor a influência, no seu desempenho, da sequência seguida por cada utilizador ao jogar nas três configurações;
- Permitir aos utilizadores treinarem-se com o HMD e verificar se esse treino melhora o seu desempenho aproximando-o da configuração em que estes têm mais experiência (*desktop*).

## 6. AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de expressar o seu agradecimento a Jan-Willem Baggerman e Angela Pimentel pela sua colaboração numa experiência anterior, na qual este estudo se baseou, e aos 18 utilizadores voluntários pela sua participação.

## BIBLIOGRAFIA

- [Bowman 01] D. Bowman, E. Kruijff, Jr J. LaViola, e I. Poupyrev. An introduction to 3D user interfaces design. *Presence: Tele. and VR*, 10(1):96–108, 2001.
- [Bowman 05] D. Bowman, E. Kruijff, Jr J. LaViola, e I. Poupyrev. *3D User Interfaces: Theory and practice*. Addison Wesley, 2005.
- [Conover 99] W. J. Conover. *Practical non-parametric Statistics*. John Wiley & Sons, 3ª edição, 1999.
- [Dias 07] P. Dias, A. Pimentel, C. Ferreira, e B. Sousa Santos. Usability in virtual and augmented environments: A qualitative and quantitative study. Em *Proc. Electronic Imaging Conf., SPIE Vol. 6490, Stereoscopic Displays and VR Systems XIV*, página 64901I, 2007.
- [Dix 04] A. Dix, J. Finley, G. Abowd, e B. Ruszel. *Human Computer Interaction*. Prentice Hall, 3ª edição, 2004.
- [Griffiths 06] G. Griffiths, S. Sharples, e J. Wilson. Performance of new participants in virtual environments: The Nottingham tool for assessment of interaction in virtual environments (NAIVE). *Int. J. Human-Computer Studies*, 64:240–250, 2006.
- [Hoaglin 83] D. Hoaglin, F. Mosteller, e J. Tukey. *Understanding Robust and Exploratory Data Analysis*. John Wiley & Sons, 1983.
- [Prabhat 08] M. Prabhat, A. Forsberg, M. Slater, K. Wharton, e M. Katzourin. A comparative study of desktop, fish tank and cave systems for the exploration of volume rendered confocal data sets. *IEEE Trans. Vis. and Comp. Graph. (in press)*, 2008.
- [Qi 06] W. Qi, R. Taylor, C. Healey, e J. Martens. A comparison of immersive HMD, fish tank VR and fish tank with haptics displays for volume visualization. Em *Proc. 3rd Symp. on Applied Perception in Graph. and Vis.*, páginas 51–58, 2006.
- [Ruddle 04] R. Ruddle e P. Péruch. Effects of proprioceptive feedback and environmental characteristics on spatial learning in virtual environments. *Int. Journal of Human-Computer Studies*, 60:299–326, 2004.
- [Sta08] Statistica. <http://www.statsoft.com>, (acedido em Julho/2008).
- [Usuh 99] M. Usuh, K. Arthur, M. Whitto, R. Bastos, A. Steed, M. Slater, e F. Brooks. Walking > walking-in-place > flying, in virtual environments. Em *Proc. of SIGGRAPH 99*, páginas 359–364, 1999.
- [Wilson 06] J. Wilson. Interaction with virtual environments. *Int. J. Human-Computer Studies*, 64, 2006.