

Avaliação de Usabilidade em Sistemas de Realidade Virtual e Aumentada: principais métodos¹

Ângela Pimentel, Paulo Dias, Beatriz Sousa Santos

Resumo – Existe uma grande variedade de sistemas de Realidade Virtual e Aumentada, utilizando desde simples HMDs (*Head-Mounted Displays*) até sistemas mais complexos como as CAVEs (*Cave Automatic Virtual Environments*). No entanto, e apesar do crescente desenvolvimento destes sistemas, não existem muitos estudos para validar a sua utilidade e usabilidade. Contudo, também no caso sistemas de Realidade Virtual e Aumentada, a avaliação de usabilidade é crucial para o seu melhor desenvolvimento, uma vez que permite saber se satisfazem as necessidades dos utilizadores. Neste artigo apresenta-se um estudo sobre a usabilidade, seus princípios, paradigmas e formas de avaliação adaptados aos sistemas de Realidade Virtual e Aumentada.

Abstract – A variety of Virtual and Augmented Reality systems exist, ranging from simple systems using HMDs (*Head-Mounted Displays*), to sophisticated systems as the CAVEs (*Cave Automatic Virtual Environments*). However, there are not many studies concerned with their utility and usability evaluation. Yet this evaluation is crucial to their development according the users' needs. This article presents a study concerning usability, its principles and paradigms, as well as evaluation methods adapted to Virtual and Augmented Reality systems.

I. INTRODUÇÃO

A Realidade Virtual e Aumentada têm vindo a experimentar uma crescente importância. Verifica-se um interesse cada vez maior em relação a sistemas computacionais que proporcionem ambientes imersivos e interacção mais flexível e intuitiva. Como resultado, os ambientes virtuais e aumentados estão a tornar-se mais complexos, não só no que diz respeito aos aspectos gráficos, mas também nas formas de interacção com os utilizadores, sendo cada vez mais difícil decidir quais as soluções adequadas a cada caso.

Apesar das limitações tecnológicas que a Realidade Virtual e Aumentada ainda possuem, a incorporação, deste tipo de tecnologia, no processo produtivo das empresas é um facto consumado [4,0] e é por esta razão que nos devemos preocupar cada vez mais com a sua usabilidade, procurando tornar os sistemas virtuais e aumentados mais fáceis de usar, promovendo eficiência, eficácia e satisfação de todos aqueles que os utilizam. Torna-se,

assim, necessário definir métodos e parâmetros que testem e avaliem a usabilidade dos sistemas durante tanto o ciclo de desenvolvimento quanto o ciclo de implantação. Apesar das ferramentas, métodos e técnicas de avaliação de usabilidade estarem bem definidas para ambientes 2D, existem ainda relativamente poucos exemplos de aplicação a Realidade Virtual e Aumentada. Contudo, o número destes estudos tem vindo a aumentar. Alguns exemplos de comparação entre ambientes virtuais de vários tipos podem encontrar-se em [0 0 0 0 0 0 0 0].

II. USABILIDADE

De acordo com o autor Timothy Marsh [0], usabilidade é a capacidade de realizar tarefas de forma eficaz, eficiente e com satisfação. A sua lógica rege-se pelo facto de que, quanto mais pessoas conseguirem alcançar os seus objectivos e tarefas e quanto mais satisfeitas elas se sentirem, mais utilizável será considerada a interface de utilizador do produto avaliado.

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. Ainda de acordo com Nielsen, o conceito de usabilidade está englobado no conceito de aceitabilidade. Enquanto a primeira mede a eficiência, a eficácia e 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*). O conceito de *Usefulness* pode ser dividido em usabilidade e utilidade, sendo esta última relacionada com funcionalidade.

De acordo com Mark Scerbo [0] e Jakob Nielsen, funcionalidade 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.

¹ Este trabalho foi realizado no âmbito de uma dissertação do Mestrado em Gestão da Informação da responsabilidade dos Departamentos de Economia, Gestão e Engenharia Industrial e Electrónica, Telecomunicações e Informática.

III. PARADIGMAS DE USABILIDADE

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.

Ao longo do tempo existiram diversos paradigmas de interacção, tais como *Time Sharing* (anos 60), *Personal Computing* (anos 70), *Metáfora Desktop* (anos 80), *Manipulação Directa* (anos 80), *WYSIWYG* (*What You See Is What You Get*), dentre outros. No entanto, no que diz respeito à Realidade Virtual e Aumentada, não existe um paradigma dominante que rege a forma de compreender a Realidade Virtual e Aumentada. 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 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.

IV. 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 concepção, 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, existem regras abstractas e específicas para determinar as

consequências da usabilidade, estas estão divididas em Princípios, Normas e Directivas. Os primeiros são derivados de conhecimentos da computação, psicologia, e sociologia, são independentes das tecnologias e podem ser aplicados em várias situações, mas não são muito adequados para definir regras de usabilidade. Estes princípios estão divididos em três grandes grupos, relacionados com a Facilidade de Aprendizagem, a Flexibilidade e a Robustez. 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 Aumentada.

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).

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 gerais. De acordo com Alan Dix, existe uma vasta literatura que apresenta directivas para o desenvolvimento de projecto de sistemas interactivos (como), no entanto é muito difícil concebê-las, pois, como afirma Jakob Nielsen, 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.

Muitos dos princípios e directivas de usabilidade existentes para outro tipo de sistemas, podem ser transpostos para os sistemas de Realidade Virtual e Aumentada; também se podem desenvolver directivas e normas de usabilidade específicas para estes sistemas.

Propõe-se a seguir a adaptação aos ambientes de Realidade Virtual e Aumentada das “*Eight Golden Rules of Interface Design*”, um conjunto de princípios de *design* de interfaces de utilizador, propostos por Ben Shneiderman, aplicáveis à maioria dos sistemas interactivos. Apresenta-se para algumas destas *Golden Rules*, uma tabela com a transposição para as interfaces

3D dos ambientes de Realidade Virtual e Aumentada e a situação 2D para que foram inicialmente concebidas.

1. Consistência (*Strive for consistency*)

Segundo o próprio autor, esta é a regra mais difícil de cumprir, pois existe uma variedade enorme de formas para manter a consistência. A tabela 1 inclui alguns exemplos.

Tabela 1: Consistência em aplicações 2D e 3D.

2D	3D
<ul style="list-style-type: none"> - Sequências consistentes de acções devem ser requeridas em situações similares; - Terminologias idênticas devem ser usadas nos menus e telas de ajuda; - A consistência deve estar presente também na utilização das cores, nos caracteres e utilização de maiúsculas e minúsculas. 	<ul style="list-style-type: none"> - As acções virtuais devem ser análogas às acções realizadas em situações reais, como por exemplo, as leis da física devem ser respeitadas; - Terminologia e imagens, utilizadas em ambientes virtuais e aumentados, devem ser correspondente à realidade; - A consistência também deve estar presente no uso das cores, escalas, sons 3D e forças tácteis.

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

Um dos aspectos mais importantes quanto a esta regra é o facto dos utilizadores mais frequentes necessitam de atalhos para aumentar a facilidade de utilização do sistema. A tabela 2 apresenta exemplos.

Tabela 2: Universal usability em aplicações 2D e 3D.

2D	3D
<ul style="list-style-type: none"> - Devem ser fornecidos atalhos, comandos escondidos, permitindo um aumento da velocidade de realização das tarefas. 	<ul style="list-style-type: none"> - As interações devem ser o mais natural possível, sejam visuais, auditivas ou tácteis.

3. Feedback informativo (*Offer informative feedback*)

Toda acção do utilizador deve ter resposta do sistema. A tabela 3 apresenta exemplos.

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

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

Tabela 3: Feedback informativo em 2D e 3D.

2D	3D
<ul style="list-style-type: none"> - As acções frequentes e menores devem gerar 	<ul style="list-style-type: none"> - As acções dos utilizadores reconhecidas pelos sistemas de

<ul style="list-style-type: none"> respostas discretas, já que as acções menos habituais e de maior gravidade devem gerar respostas mais concretas e consistentes. 	<ul style="list-style-type: none"> <i>tracking</i>, devem gerar respostas imediatas. Uma vez que todas elas são traduzidas em acções no espaço virtual, as respostas são imediatamente visualizadas ou sentidas no ambiente.
---	---

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

A interacção entre utilizador e interface 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, mas muitos podem ser evitados através de um projecto do sistema tendo em conta os erros mais comuns.

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

Tanto em aplicações 2D como 3D, se existir a possibilidade 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 ao estado anterior. A tabela 4 apresenta alguns exemplos.

Tabela 4: Prevenção de erros em aplicações 2D e 3D.

2D	3D
<ul style="list-style-type: none"> - Deve utilizar-se 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. 	<ul style="list-style-type: none"> - Deve-se 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, caso seja desejável (ex. se o utilizador tentar abrir uma porta, que só abre para fora, puxando, o sistema não permite 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 deverá ser desfeito).

Tabela 5: Redução da memória de curto prazo em aplicações 2D e 3D.

2D	3D
<ul style="list-style-type: none"> - Deve-se utilizar ecrãs simples, consolidação de múltiplas páginas e disponibilidade de tempo para aprendizagem. 	<ul style="list-style-type: none"> - A interacção deve ser tão natural quanto possível, permitindo ao utilizador agir como se estivesse no mundo real.

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*)

Tanto em aplicações 2D como 3D, deve reduzir-se a carga da memória de curta duração, já que a sua baixa capacidade e pequena duração são uma das maiores limitações do Sistema de Processamento de Informação Humano. A tabela 5 apresenta exemplos.

V. AVALIAÇÃO DE USABILIDADE

As técnicas de avaliação de usabilidade, como em qualquer outro tipo de sistema interactivo, podem auxiliar no desenvolvimento de sistemas de Realidade Virtual e Aumentada, permitindo uma maior eficiência, eficácia e satisfação por parte dos utilizadores, bem como uma diminuição de custos e aumento da facilidade de utilização. 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 a avaliação em ambientes 2D, serão descritos a seguir os métodos de avaliação mais utilizados, verificando se estes são aplicáveis aos ambientes virtuais e aumentados, embora haja problemas específicos à avaliação de usabilidade em interfaces 3D e consequentemente em sistemas de Realidade Virtual e Aumentada 0,0.

A avaliação de usabilidade pode ser feita com o fim de informar e guiar o desenvolvimento de um sistema (avaliação formativa), ou de “medir” a usabilidade de um sistema ou comparar a usabilidade de vários sistemas (avaliação sumativa). Existem numerosos métodos para esta avaliação e várias formas de os classificar e organizar.

De acordo com Preece 0 há vários tipos de avaliação de usabilidade: as experiências controladas, que se realizam para estudar aspectos específicos, podem usar-se para estabelecer directivas e informam o projecto, mas são proibitivas na maioria dos projectos, em termos de recursos materiais e humanos; os métodos de Engenharia da Usabilidade, que têm uma natureza semi-científica e fornecem procedimentos sistemáticos para testar a usabilidade de um produto durante o seu desenvolvimento, nos vários ciclos de projecto, avaliação, reformulação do projecto; a avaliação interpretativa que inclui métodos mais informais, menos controlados pelo avaliador, alguns derivados da Antropologia e da Sociologia, diferindo essencialmente dos métodos anteriores pelo facto da agenda da avaliação surgir do contexto do estudo e ser decidida em conjunto por avaliadores e utilizadores; a avaliação preditiva, que tem como objectivo prever aspectos da utilização não envolvendo utilizadores, com o objectivo de baixar o custo da avaliação.

De acordo com Dix 0, os métodos de avaliação de usabilidade podem dividir-se em métodos analíticos, mais vocacionados para a avaliação do projecto e que não envolvem utilizadores, e métodos mais vocacionados para a avaliação da implementação e que envolvem utilizadores. Neste artigo segue-se esta organização para apresentar alguns métodos de avaliação de usabilidade, sendo que o *Cognitive Walkthrough*, a Avaliação Heurística e os Métodos Baseados em Revisão são do primeiro tipo e as Experiências Controladas, os Métodos de Observação e os Métodos de Inquérito, são do segundo tipo. Estes métodos fornecem informação de tipo diferente e, em geral, devem ser usados vários por forma a complementarem-se.

Antes de iniciar qualquer processo de avaliação, seja em ambientes virtuais ou não, é necessário determinar os objectivos e as razões, para a partir daí especificar os métodos, técnicas ou combinações a serem aplicados. Para os métodos que envolvem utilizadores, após se ter determinado as tarefas a realizar, escolhem-se os participantes; se for um estudo em laboratório, procuram-se aqueles que melhor representam os utilizadores finais, porém, se for um estudo de campo serão utilizadores reais em seu ambiente natural.

Como referido, apresenta-se a seguir uma breve descrição de cada um dos métodos de avaliação de usabilidade mais conhecidos.

A. *Cognitive Walkthrough*

O termo *walkthrough* pode talvez ser traduzido por “exploração cognitiva”, 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 a tarefa. Os avaliadores prevêem problemas de usabilidade, através da observação da simulação dessas acções, não sendo necessário realizar testes com 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 Aumentada.

Para realizar uma avaliação com este método são necessárias 0:

1. Uma descrição detalhada do utilizador típico e do protótipo do sistema;
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 o utilizador tem.

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

1. Está o utilizador a tentar realizar algum resultado específico com a acção desempenhada?
2. Será o utilizador capaz de perceber que a acção correcta está disponível?
3. Uma vez que o utilizador encontre as acções correctas numa interface, irá ele reconhecer que estas são as indicadas para o que pretende fazer?
4. Depois da acção ser realizada, o utilizador irá entender o *feedback* que vai receber? Saberá reconhecer que realizou a acção correcta?

Depois de responder a tais questões, promove-se a discussão entre os participantes que testaram o sistema, os projectistas e os especialistas. Por ser um método teórico, que não envolve a construção física de um protótipo, parece perfeitamente possível a sua aplicação em ambientes virtuais e 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.

B. Avaliação Heurística

Jakob Nielsen e Rolf Molich conceberam uma lista com 10 heurísticas baseadas nos princípios e directivas de usabilidade 0. Com o auxílio desta, os avaliadores podem analisar um sistema e identificar potenciais problemas de usabilidade. Este método é subjectivo, dependendo os resultados obtidos do avaliador. Para conseguir resultados mais objectivos torna-se necessária a participação de vários avaliadores independentes. Num estudo efectuado por Jakob Nielsen, cinco avaliadores independentes conseguiram descobrir cerca de 75% dos problemas, sendo este número de avaliadores considerado um compromisso razoável 0.

De acordo com Bowman et al. 0, a falta de heurísticas específicas para interfaces 3D, torna este método difícil de aplicar. Apresentam-se a seguir as dez heurísticas de usabilidade propostas por Jakob Nielsen e Rolf Molich, sendo referida a possibilidade da sua aplicação em sistemas de Realidade Virtual e Aumentada e nos ambientes por eles proporcionados.

1. Visibilidade do estado do sistema: tanto nos ambientes virtuais e aumentados como nos ambientes 2D, o sistema deve manter o utilizador informado das modificações que o ambiente sofre com as suas acções, através de *feedback* apropriado, tendo em conta o tempo. Nos ambientes virtuais e aumentados, o tempo de resposta e as actualizações do *tracking* são responsáveis pela actualização imediata do estado do sistema.
2. Correspondência entre o sistema e o mundo real: deve o sistema “falar” a mesma língua que o utilizador, usar conceitos familiares e convencionais, tornando as informações naturais e lógicas. Os ambientes virtuais e aumentados são construídos à imagem do mundo real ou com base

- nele, procurando 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 (*undo* e *redo*). Nos ambientes virtuais e aumentados, geralmente as acções são incrementais e reversíveis.
4. Consistência e padrões: tanto nos ambientes virtuais e aumentados como nos ambientes 2D, os utilizadores não devem ter que se preocupar se as palavras, situações ou acções significam a mesma coisa. Os ambientes devem ser coerentes com as experiências reais passadas e com as experiências obtidas através do sistema. Devem ser compatíveis com o mundo real e com eles próprios.
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 ambiente.
6. Reconhecer ao invés de lembrar: os utilizadores não devem ter necessidade de se lembrar de informação de uma parte para a outra do ambiente, além disso as instruções devem estar visíveis ou ser fáceis de se encontrar. Nos ambientes virtuais e aumentados esta heurística poderia ser adaptada 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.
7. Flexibilidade e eficiência de uso: o sistema deve satisfazer tanto os principiantes quanto os experientes. A disponibilização de atalhos é uma forma de ajustamento entre os mesmos. Esta heurística talvez seja a mais difícil de aplicar nos ambientes virtuais e aumentados, porque criar atalhos em tais tipos de ambientes irá depender do tipo da aplicação, é algo muito específico de cada situação.
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 estes 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 os mais intuitivos 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, não devendo ser extensos. Nos ambientes virtuais e aumentados, o ideal é que estes sejam tão naturais e intuitivos que os utilizadores não necessitem de ajuda, seja do sistema, seja de outro utilizador.

Após a observação do cumprimento ou não das heurísticas pelo sistema, o resultado é uma lista de problemas encontrados com um grau de gravidade associado. Esta lista deve ser registada num documento e transmitida aos responsáveis pelo desenvolvimento do sistema, que irão determinar se é possível ou não a sua correcção de acordo com a lista de prioridades estabelecida para cada problema bem como com o grau de dificuldade envolvido na sua correcção. Este é um método simples, relativamente rápido e que não envolve grande custo. Faz parte dos *discount usability methods* 0.

As heurísticas são gerais, sendo necessário adaptá-las ou reformulá-las para sistemas ou aplicações específicas. Uma forma de criar heurísticas suplementares é através da análise e teste com participantes em produtos/ ambientes já existentes, procurando criar princípios que possam explicar os problemas de usabilidade encontrados. Note-se ainda que a transposição aqui apresentada para os ambientes virtuais e aumentados das heurísticas de usabilidade é teórica e carece de validação experimental.

C. Avaliação Baseada em Revisão

Este método é baseado na revisão bibliográfica de tudo o que já foi escrito, testado e documentado. O avaliador deve seleccionar evidências, temas escolhidos, análises e assumpções realizadas 0 que possam ser aplicáveis ao caso em estudo, antes de iniciar qualquer processo de avaliação, seja de ambientes virtuais e aumentados ou não. Apesar de consumir muito tempo, esta é uma técnica extremamente válida por evitar que experiências se repitam e, em geral, a sua aplicação é compensadora.

D. Experiências Controladas

Este método baseia-se em experiências controladas com utilizadores, que irão comprovar, pela quantificação do desempenho dos utilizadores, se são verdadeiras ou não as hipóteses predeterminadas pelos avaliadores. Escolhem-se as hipóteses a testar, sendo então definidas as condições experimentais, que diferem nas variáveis controláveis.

Tabela 6: Projecto experimental. Fonte: Alan Dix [Dix et al 2004].

Passos para um Projecto Experimental	
1	Escolher a hipótese, ou seja, decidir claramente o que quer demonstrar;
2	Clarificar as variáveis independentes e dependentes;

3	Escolher o método experimental a utilizar (“entre grupos” e “dentro de grupos”);
4	Escolher o método de análise de resultados.

O método experimental engloba duas técnicas principais: “entre grupos” e “dentro de grupos”. No primeiro caso, os grupos são associados a condições semelhantes, diferentes nas variáveis a serem medidas. Enquanto que no segundo caso, todos os participantes irão trabalhar em todas as condições propostas dentro de um mesmo grupo.

E. Métodos de observação

Existem várias técnicas de observação, umas mais intrusivas que outras, mas a escolha final de uma delas para aplicação 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 sistema, até a forma de registar as informações. Alan Dix [Dix et al 2004] denomina de Protocolo as formas de registo de informação. A tabela 7 mostra os principais métodos de registo.

Não existe uma única forma correcta de registar os eventos, seja eles virtuais ou não, sendo desejável a utilização de várias técnicas ao mesmo tempo, com o intuito de complementar e diminuir pontos fracos de cada uma.

Timothy Marsh 0 considera que é possível utilizar a técnica de “pensar alto” para avaliar a usabilidade de ambientes *desktop* virtual, porém Chris Johnson 0 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.

Tabela 7: Protocolos de registo. Fonte: Alan Dix 0.

Papel e Caneta	- é a forma mais antiga e barata de anotar interpretações e situações extraordinárias, mas está condicionada a 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.
--	--

F. Métodos de Inquérito

Segundo Ben Shneiderman [10], 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, seja 2D seja virtual, através de entrevistas ou questionários. É uma técnica 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.

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 une os pontos fortes das metodologias, já que cada método é mais indicado para uma determinada aplicação.

De acordo com o estudo de [10], 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 ou representantes dos mesmos 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 o 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 e aumentado através de questionários.

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, recursos monetários) [10].

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, físicas, conhecimentos e experiências prévias do utilizador (nível educacional, idioma, experiência com o sistema, com a tarefa, etc.). Os utilizadores são pessoas com 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 factores externos como o ambiente, contexto, ferramentas disponíveis e as actividades correlacionadas [10]. Sendo assim, não existe um método que seja melhor que os outros. 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 e Aumentada é conjugar métodos de avaliação que se complementam, tendo como resultado um melhor entendimento sobre os ambientes avaliados.

IV. CONCLUSÕES

Neste trabalho apresentam-se os mais importantes princípios e métodos utilizados na avaliação de usabilidade de sistemas interactivos e analisa-se a sua aplicabilidade aos sistemas de Realidade Virtual e Aumentada. Todos os métodos de avaliação apresentados neste artigo são baseados em paradigmas e princípios gerais, logo possuem características gerais que os tornam claramente passíveis de serem adaptados e aplicados aos sistemas de Realidade Virtual e Aumentada. Tal como noutros casos, é necessário, para escolher o tipo de método a aplicar na avaliação e 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. No entanto existem especificidades na avaliação dos ambientes virtuais e aumentados que têm que ser tidas em conta. Também a aplicação de avaliação heurística a estes ambientes é difícil por não existirem ainda heurísticas específicas. No sentido de facilitar esta aplicação, propõe-se neste trabalho a transposição para ambientes virtuais e aumentados de 10 heurísticas gerais; no entanto, esta transposição carece de validação experimental.

REFERÊNCIAS

- 1 J. Wilson, M. D’Cruz, “Virtual and interactive environments for work of the future”, *Int. J. Human-Computer Studies*, 64, 2006, pp.158-169
- 2 D. Bowman, D. Johnson, L. Hodges. “Testbed Evaluation of Virtual Environment Interaction Techniques”, *VRST 99*, London UK, ACM Press, pp. 26-33. 1999
- 3 J. Karaseitanidis, A. Amditis, H. Patel, S. Sharples, E. Bekiaris, A. Bullinger, J. Tromp, “Evaluation of Virtual Reality products and applications from individual, organizational and societal perspectives – The “VIEW” case study”, *Int. J. Human-Computer Studies*, 64. 2006, pp. 251-266
- 4 E. Gaia. “VR in Engineering Design and Development”, 2nd INTUITION International Workshop. 2006
- 5 G. Thibault. Panel “VR in Engineering Design and Development”, 2nd INTUITION International Workshop. 2006
- 6 V. Paelke. “Agents as Building-Blocks for Usability Tests in Multi-User 3D Environments”. *CHI Interactive Posters*. pp. 173-174. 2000
- 7 R. Pauch, D. Proffitt, G. Williams, “Quantifying Immersion in Virtual Reality”, *Proc. 24th Ann. Conf. Computer Graphics and Interaction Techniques*. 1997, pp. 13-18
- 8 S. Wiedenmaier, O. Oehme, L. Schmidt, H. Luczak, “Augmented Reality (AR) for Assembly Processes – An Experimental Evaluation”, *Proc. IEEE and ACM Int. Symposium on Augmented Reality*, New York, October 2001, pp. 185-186
- 9 D., Mizell, Jones S., Slater M., Spanlang B., Comparing Immersive Virtual Reality with Other Display Modes for Visualizing Complex 3D Geometry, 2002, <http://www.cs.ucl.ac.uk/research/vr/Projects/Immersion/Experiment2/paper.pdf> (on-line Setembro, 2007)
- 10 Ruddle, R., Péruch, P., “Effects of proprioceptive feedback and environmental characteristics on special learning in virtual environments” *Int. Journal of Human-Computer Studies*, 60, 2004, pp. 299-326
- 11 K. Gruchalla, “Immersive Well-Path Editing: Investigating the Added Value of Immersion”, *Proceedings of IEEE Virtual Reality*, 2004, pp. 157-164
- 12 J. Schulze, Forsberg, A., Kleppe, A., Zeleznik, R., Laidlaw D., “Characterizing the Effect of Level of Immersion on a 3D Marking Task”, *Proceedings of HCI International*, 2005
- 13 A. Bayyari, Tudoreanu, M. E. “The impact of Immersive Virtual Reality Displays on the Understanding of Data Visualization”, *Virtual Reality and Software Tools VRST’06*, 2006, pp. 368- 371
- 14 C. Demiralp, C. Jackson, D. Karelitz, S. Zhang e D. Laidlaw, “CAVE and Fishtank Virtual-Reality Displays: A Qualitative and Quantitative Comparison”, *IEEE Trans. Visualization and Computer Graphics*, 12, 3, pp. 323-330. 200
- 15 W. Qi, Taylor, R., Healey, C., Martens, J.B. “A comparison of immersive HMD, fish tank VR and fish tank with haptics displays for volume visualization”. *Proceedings of the 3rd Symposium on Applied Perception in Graphics and Visualization*, 2006, pp. 51 – 58
- 16 M. Prabhat, Forsberg, A., Slater, M., Wharton, K., Katzourin, M., “A Comparative Study of Desktop, Fish tank and Cave Systems for the Exploration of Volume Rendered Confocal Data Sets”, *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics* (in press)
- 17 T. Marsh. “Evaluation of Virtual Reality Systems for Usability”. *Doctoral Consortium CHI*, Oxford Universtisy Press, pp. 15-20. 1999
- 18 J. Nielsen. *Usability Engineering*, Academic Press Limited. 1993
- 19 M. Scerbo. *Research Techniques in Human Engineering*, Prentice-Hall PTR. 1995
- 20 A. Dix, J. Finlay, G. Abowd, R Beale. *Human-Computer Interaction*, Prentice-Hall Europe, 3ª Edição. 2004
- 21 D. Meyhew. *Principles and Guidelines to Software Interface Design*, Prentice-Hall. 1992
- 22 B. Shneiderman. *Designing the User Interface: Strategies for Effective Human-Computer Interaction*, 3rd ed., Addison Wesley, 1998
- 23 D. Bowman, Kruijff, E. LaViola, Jr J., Poupyrev, I., “An introduction to 3D user interfaces design”, *Presence: Teleoperators and VR*, 10(1), 2001, pp. 96-108
- 24 D. Bowman, Kruijff, E. LaViola, Jr J., Poupyrev, I., *3D User Interfaces- Theory and Practice*, Addison Wesley, 2005
- 25 J. Preece, Y. Rogers, H. Sharp, D.Benyon, S. Holland, T. Carey, *Human Computer Interaction*, Addison Wesley. 1994
- 26 J. Preece, Y. Rogers, H. Sharp. *Interaction Design, Beyond Human-Computer Interaction*, 2nd ed., John Wiley & Sons Inc. 2007
- 27 R. Mark, J. Nielsen. *Usability Inspection Methods*, John Wiley & Sons Inc. 1994
- 28 C. Johnson. “Why ‘Traditional’ HCI Techniques Fail to Support DesktopVR”, *The Institution of Electrical Engineers (IEE)*, pp. 1-5. 1998
- 29 H. Patel, M. D’Cruz, S. Cobb, J. Wilson. “Methods for Evaluating Virtual Environment: practical guidance”. 2nd INTUITION International Workshop. 2006

- 30 J. Burkhardt. "Evaluation Methods in User-Centred Design of Virtual Environments: current practices and some perspectives in cognitive ergonomics", 2nd INTUITION Int. Workshop. 2006
- 31 A. Sutcliffe. Multimedia and Virtual Reality, Lawrence Erlbaum Associates Inc. 2003