

Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Ultra-light and Low-cost Mobile Augmented Reality Units

Dissertação de Mestrado em Engenharia Informática

Por

Luís Filipe Machado Pádua

Sob orientação do Professor Doutor António Manuel Trigueiros de Silva Cunha
e do Professor Doutor Luís Gonzaga Mendes Magalhães



Vila Real, 2015

Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Ultra-light and Low-cost Mobile Augmented Reality Units

Dissertação de Mestrado em Engenharia Informática

Por

Luís Filipe Machado Pádua

Orientação

Professor Doutor António Manuel Trigueiros de Silva Cunha

Professor Doutor Luís Gonzaga Mendes Magalhães

Composição do júri:

Presidente: Professor Doutor Paulo Martins, Escola de Ciências e Tecnologia, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Arguente: Professor Doutor António Coelho, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto

Vogal: Professor Doutor António Cunha, Escola de Ciências e Tecnologia, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Vila Real, 2015

Resumo

A realidade aumentada caracteriza-se pela sobreposição de conteúdos virtuais sobre o mundo real. Esta auxilia o ser humano, aumentando a quantidade de informação que este tem ao seu dispor e é aplicada nas mais diversas áreas da atividade humana. Ao longo dos anos, vários sistemas foram propostos com o intuito de trazer mobilidade a sistemas de realidade aumentada. Estes, inicialmente, possuíam poucos recursos computacionais que foram aumentado com a evolução tecnológica. Normalmente transportados numa mochila, integravam vários dispositivos, nomeadamente, um computador com vários sensores ligados e um dispositivo de visualização. Estes sistemas eram desconfortáveis, dado o seu peso e as suas dimensões, e proporcionavam um baixo grau de imersividade dada a fraca qualidade dos dispositivos de visualização. Embora tenham surgido dispositivos mais leves e compactos, esses apresentavam desempenhos inferiores aos sistemas móveis baseados em computadores, e possuíam um custo insuportável para a maioria dos utilizadores. Atualmente, a tecnologia permitiu uma enorme miniaturização dos dispositivos computacionais, surgindo dispositivos móveis que integram variadíssimos sensores e que tornam possível o desenvolvimento de sistemas de realidade aumentada móvel de *baixo custo*, com peso e dimensão reduzidos, com capacidade de processamento e resolução de ecrãs mais adequados para a realidade aumentada.

Nesse contexto, esta dissertação apresenta uma revisão de vários sistemas de realidade aumentada móvel publicados, e propõe vários protótipos baseados em dispositivos comerciais atuais. Este foram desenvolvidos com o intuito de proporcionarem a melhor experiência imersiva e de conforto a um custo comportável para os utilizadores. Os protótipos foram sujeitos a testes comparativos de performance e posteriormente avaliados por utilizadores quanto ao conforto e imersividade em contexto *indoor* e *outdoor*. Os resultados de performance mostram que os protótipos apresentam capacidade para apresentar conteúdos de realidade aumentada, tendo sobressaído os dispositivos com maior capacidade e maior peso. Por sua vez, os utilizadores embora se mostrassem de uma forma geral agradados com as experiências proporcionadas pelos protótipos, alguns referiram ter sentido desconforto devido ao peso de um protótipo e um número muito reduzido de utilizadores referiu ter sentido algumas indisposições durante a sua utilização, nomeadamente: tonturas, visão turva, cansaço visual e desequilíbrios

Palavras-chave: realidade aumentada; realidade aumentada móvel; experiências, unidades móveis de realidade aumentada; dispositivos móveis.

Abstract

Augmented reality is characterized by the superimposing of virtual content over the real world. It helps people by “augmenting” the amount of information available and it is applied in several areas of human activity. Over the years, several systems have been proposed in order to bring mobility to augmented reality systems. Initially, these systems had few computing resources that were increased by technological developments. Usually, they were carried in a backpack, integrating several devices, such as a computer with multiple sensors and a display device connected to it. These systems were uncomfortable due to their weight and dimensions, and they lacked immersion because of the poor quality of the display devices. Lighter and more compact devices appeared but they had inferior performance compared to computer-based systems and were priced at an unbearable cost for most users. Nowadays, technology has enabled device miniaturization, allowing several devices to be released with several integrated sensors, making it possible to develop low-cost mobile augmented reality systems with reduced weight, size and with processing power and screen resolution suitable for augmented reality.

In this context, this work presents a review of several published mobile augmented reality systems, and proposes some prototypes based on current commercial devices. These were developed in order to provide the best immersive experience and comfort at an affordable cost for users. The prototypes were subjected to comparative performance tests and further evaluated by users relatively to the comfort and immersion in indoor and outdoor environments. The results show that the developed prototypes have a good capacity to present augmented reality contents, where the devices with larger computing capacity and higher weight achieved best results. In turn, the users were generally satisfied with the experiences provided by prototypes, but some reported to feel discomfort due to the weight of a prototype, and a very small number of users reported having experienced certain indispositions during the use, particularly: dizziness, blurred vision, eye strain and imbalances.

Keywords: augmented reality; mobile augmented reality; mobile augmented reality units; mobile devices; experiences.

Agradecimentos

A realização desta dissertação foi uma etapa que só foi possível de concretizar com o apoio de várias pessoas. A todas as pessoas que me motivaram e ajudaram a ultrapassar as dificuldades encontradas neste percurso ajudando-me a concluir esta etapa. Agradeço então:

À Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, instituição que me acolheu ao longo de cinco anos e me proporcionou condições para a minha formação académica.

À equipa de orientação, composta pelo Professor Doutor António Manuel Trigueiros da Silva Cunha, Professor Auxiliar na Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, orientador deste trabalho, pela sua orientação e auxílio prestado durante a realização do trabalho e sua disponibilidade demonstrada ao longo desta dissertação. E pelo Professor Doutor Luis Gonzaga Mendes Magalhães, Professor Auxiliar com Agregação na Universidade do Minho, coorientador deste trabalho, pelo apoio, disponibilidade, pelas sugestões e correções que em muito enriqueceram esta dissertação.

A todos os meus colegas que comigo se cruzaram no curso de Engenharia informática da UTAD, pelo companheirismo e amizade demonstrados ao longo destes anos de estudo. Agradeço especialmente a Luís Costa, Inês Domingues, João Gonçalves, Jorge Pereira, Jorge Magalhães, Luís Cardoso, Pedro Marques, Pedro Gonçalves, João Barreira, Jorge Freitas e Cesar Meira.

Às equipa do projeto MixAR, no qual estive envolvido no último ano, pelo auxílio e apoio prestados. Ao Professor Doutor Emanuel Peres, Telmo Adão e David Narciso.

À minha família, pais e irmã, pelo esforço, união e honestidade, estando a meu lado em todos os momentos deste meu percurso.

À minha companheira Vânia Silva, pelo seu carinho, ajuda, apoio e compreensão durante este caminho.

A todos os que direta ou indiretamente contribuíram para o meu sucesso académico.

A todos eles os meus sinceros agradecimentos!

Luís Pádua

UTAD, Vila Real, 7 de Setembro de 2015

Índice

Resumo.....	v
Abstract	vii
Agradecimentos.....	ix
Índice de figuras	xv
Índice de tabelas	xix
Glossário, acrónimos e abreviaturas.....	xxi
1 Introdução.....	1
1.1 Objetivos.....	2
1.2 Metodologia.....	3
1.3 Organização da dissertação	3
2 Estado da arte	5
2.1 Realidade aumentada	5
2.1.1 Conceito de Realidade aumentada	5
2.1.2 Breve história	8
2.1.3 Arquitetura típica de um sistema de realidade aumentada móvel.....	10
2.2 Sistemas realidade aumentada de móvel	25
2.2.1 Touring Machine	25
2.2.2 Exporting MARS.....	27
2.2.3 BARS: Battlefield augmented reality system.....	28
2.2.4 ARQuake	28
2.2.5 ARCHEOGUIDE	31
2.2.6 SignPost.....	36
2.2.7 Collaborative Augmented Reality for Outdoor Navigation and Information Browsing	38

2.2.8	Human Pacman	40
2.2.9	An augmented reality museum guide	43
2.2.10	AR street view	44
2.2.11	An augmented reality presentation system for remote cultural heritage sites	46
2.2.12	MapLens	47
2.2.13	Virtual Lego	48
2.2.14	Arbela Layers Uncovererd	49
2.2.15	VisitAR	50
2.2.16	Síntese	51
3	Unidades móveis leves e de baixo custo para realidade aumentada	55
3.1.	Arquitetura geral	55
3.2.	Caracterização do sistema	56
3.3.	Unidades Protótipo	57
4	Avaliação da performance dos protótipos propostos	67
4.1.	Desenho dos testes experimentais	67
4.2.	Setup experimental	69
4.3.	Aplicações de AR para avaliação da performance	70
4.4.	Resultados	73
5	Testes com utilizadores	79
5.1	Testes em contexto <i>indoor</i>	79
5.1.1	Desenho experimental	80
5.1.2	Procedimento	85
5.1.3	Constituição do questionário	86
5.1.4	Caracterização da amostra	87
5.1.5	Resultados	88
5.2	Testes em contexto <i>outdoor</i>	98

5.2.1	Projeto MixAR	98
5.2.2	Desenho experimental	99
5.2.3	Procedimento.....	103
5.2.4	Constituição do questionário de avaliação	104
5.2.5	Caracterização da amostra.....	105
5.2.6	Resultados	106
5.3	Características dos vários protótipos	110
6	Conclusões e trabalho futuro.....	113
6.1	Conclusões.....	113
6.2	Trabalho Futuro	116
	Bibliografia.....	117
	Anexos.....	135
	Anexo A – Experiência exposição virtual.....	136
	Anexo B – Experiência MixAR	146

Índice de figuras

Figura 1 Representação simplificada do "contínuo de virtualidade" (adaptado de (Milgram & Kishino, 1994)).....	6
Figura 2 Primeiro HMD (adaptado de (Sutherland, 1968)).	8
Figura 3 Exemplo de HMDs: à esquerda HMD <i>optical see-through</i> (Seiko Epson Corporation, 2014), à direita HMD <i>video see-through</i> (Vuzix, 2014).	15
Figura 4 Classificação dos vários tipos de <i>tracking</i> (adaptado de (Rabbi & Ullah, 2013)).....	16
Figura 5 Exemplos de marcadores fiduciais utilizados pelo <i>software</i> Metaio SDK (metaio, 2012).	19
Figura 6 Protótipo desenvolvido (S. Feiner et al., 1997)	25
Figura 7 Utilizador com o protótipo MARS (Höllerer et al., 1999).....	27
Figura 8 Protótipo do projeto BARS (Julier et al., 2000)	28
Figura 9 Imagens do jogo ARQuake (Wayne Piekarski & Thomas, 2003).....	29
Figura 10 Arma de plástico para realizar a ação de disparar sistema ARQuake (Wayne Piekarski & Thomas, 2003).....	29
Figura 11 MARS utilizada no projeto ARQuake (Wayne Piekarski & Thomas, 2003).	30
Figura 12 MARS do projeto ARCHEOGUIDE, vista frontal e traseira (Gleue & Dähne, 2001)	32
Figura 13 Utilizador a usufruir da experiência Pen-Tablet (Vlahakis, Karigiannis, et al., 2002)	35
Figura 14 Utilizador com a versão PDA (Vlahakis, Karigiannis, et al., 2002).....	35
Figura 15 Utilizador com a MARS do SignPost (Michael Kalkusch et al., 2002).	37
Figura 16 Utilizador navegando numa zona histórica da Cidade de Vienna (Reitmayr & Schmalstieg, 2004)	39
Figura 17 Visualização por parte do jogador com unidade móvel e do ajudante (Realidade Aumentada e Realidade Virtual) (Cheok et al., 2004)	41

Figura 18 Utilizadores a jogar Human Pacman (Cheok et al., 2003).....	41
Figura 19 Sistema móvel criado por Miyashita et al. (2008).	43
Figura 20 Aplicação "AR street view" em funcionamento (Tokusho & Feiner, 2009)	44
Figura 21 Componentes do sistema móvel de Tokusho e Feiner (Tokusho & Feiner, 2009) ...	44
Figura 22 Sistemas de para a apresentação de informação arqueológica em museus: (A) sistema fixo num pilar rotativo; (B) sistema móvel baseado num UMPC.....	46
Figura 23 Aplicação MapLens em execução num telemóvel (Morrison et al., 2009).	47
Figura 24 Aplicação Virtual Lego em funcionamento (Henrysson et al., 2005).	48
Figura 25 (A) Menu principal da aplicação ALU; (B) Modo de realidade aumentada da aplicação ALU (Mohammed-Amin et al., 2012)	49
Figura 26 Diagrama de arquitetura proposta para unidades móveis de realidade aumentada .	55
Figura 27 Vários protótipos de MARS propostos. (A) Computador portátil (B) <i>Tablet Windows</i> (C) <i>Tablet Android</i> (D) <i>Smartphone</i> (E) <i>Smartglasses</i>	57
Figura 28 Dispositivos constituintes da MARS (1)	58
Figura 29 Dispositivos da MARS (2).....	60
Figura 30 Unidade móvel (3), baseada num <i>tablet Android</i>	60
Figura 31 Unidade móvel (4) baseada num <i>smartphone</i>	61
Figura 32 Dispositivos da MARS (5).....	62
Figura 33 HMD baseado num <i>smartphone</i> . (A) NEJE Colorcross com <i>smartphone</i> inserido. (B) Utilizador com a MARS em utilização.	62
Figura 34 Modelos utilizados. (A) Igreja. (B) Templo grego. (C) Domus 1. (D) Domus 2. (E) Domus 3.	68
Figura 35 Modelo de linhas e objeto real	71
Figura 36 Aplicações de AR para testes de performance em execução. (A) Teste do número de vértice (B) Teste com o número de objetos (C) Teste com o número de vértices e objetos. ...	72
Figura 37 Variação do número de fps no carregamento de modelos tridimensionais.	74

Figura 38 Variação do número de fps no carregamento de objetos nas várias unidades móveis.	74
Figura 39 Variação do número de fps no carregamento de modelos nas várias unidades móveis.	75
Figura 40 Relação entre o peso e a performance dos vários protótipos de MARS.....	78
Figura 41 Relação entre o preço e a performance dos vários protótipos de MARS.	78
Figura 42 Sala utilizada para as experiências (A) Imagens para <i>tracking</i> nas paredes e mesas; (B) Imagem no topo da escadaria.....	79
Figura 43 Zonas de exposição das imagens.	80
Figura 44 Imagens para <i>tracking</i> nas mesas.....	85
Figura 45 Classificação da ambientação à experiência.	92
Figura 46 Facilidade de execução das tarefas propostas em cada unidade móvel.	93
Figura 47 Classificação do peso dos protótipos.	94
Figura 48 Tipos de indisposição reportados pelos utilizadores em cada MARS.	94
Figura 49 Zonas em que os utilizadores sentiram mais peso/desconforto.	95
Figura 50 Áreas de aplicabilidade das unidades móveis.....	96
Figura 51 Local que serviu de cenário à experiência.	99
Figura 52 Locais escolhidos para a colocação de edifícios virtuais. (A) Capela junto ao Museu da Vila Velha (B) Ruínas das portas da cidade (C) Parede texturizada.	100
Figura 53 Interface do GIS MixAR com elementos georreferenciados.....	101
Figura 54 Modelos gerados para utilização na experiência.	101
Figura 55 Modelo de arestas, superfície e ajuda visual criado para o local A.	102
Figura 56 Aplicação MixAR em modo estereoscópico.	103
Figura 57 Aplicação MixAR: (A) modelo de linhas para a realização do <i>tracking</i> (B) exterior do edifício aumentado (C) interior de edifício aumentado.	103
Figura 58 Percurso realizado durante a experiência.....	104
Figura 59 Utilizadores com as MARS <i>smartphone</i> como HMD e <i>tablet</i> Android.....	106

Figura 60 Zonas corporais que os utilizadores reportaram cansaço ou exaustão.....	108
Figura 61 Tipos de indisposição reportados pelos utilizadores.....	109
Figura 62 Questões 1 a 9 na MARS computador portátil.	143
Figura 63 Questões 1 a 9 na MARS tablet Android.....	143
Figura 64 Questões 1 a 9 na MARS <i>smartphone</i>	144
Figura 65 Questões 1 a 9 na MARS <i>smartglasses</i>	144
Figura 66 Resultados da questão "O protótipo testado provocou-lhe dificuldades de movimentação?".....	145
Figura 67 Resultados da questão "A experiência pareceu-lhe cansativa?".....	145
Figura 68 Respostas relativas ao <i>tablet</i> Android no questionário de satisfação.	153
Figura 69 Respostas relativas ao <i>smartphone</i> como HMD no questionário de satisfação.....	153
Figura 70 Respostas relativas ao <i>tablet</i> Android no questionário de presença.	154
Figura 71 Respostas relativas ao <i>smartphone</i> como HMD no questionário de presença.	154
Figura 72 Respostas relativas ao <i>tablet</i> Android no questionário de imersividade.	155
Figura 73 Respostas relativas ao <i>smartphone</i> como HMD no questionário de imersividade.	155

Índice de tabelas

Tabela 1 Tipos de dispositivos utilizados para processamento em sistemas de AR móvel (adaptado de (Huang et al., 2013)).	13
Tabela 2 Vários tipos de sensores utilizados na AR (adaptado de (Huang et al., 2013)).	18
Tabela 3 Classificação dos vários tipos de redes quanto a cobertura e nível latência (adaptado de (Huang et al., 2013)).	22
Tabela 4 Peso da MARS desenvolvida para o ARCHEOGUIDE (adaptado de (Gleue & Dähne, 2001)).	34
Tabela 5 Tabela de síntese dos vários sistemas abordados.	52
Tabela 6 Apresentação do <i>hardware</i> de cada unidade móvel proposta.	63
Tabela 7 Preço dos vários componentes de cada MARS.	64
Tabela 8 Peso dos componentes de cada MARS.	65
Tabela 9 Nome, número, faces, triângulos e objetos dos modelos utilizados.	68
Tabela 10 Dados do teste com objetos e do teste com objetos e vértices com 10 modelos carregados.	76
Tabela 11 Imagens na parede e porta.	81
Tabela 12 Imagens nos quadros.	82
Tabela 13 Imagens na mesa e mesa de apoio.	83
Tabela 14 Imagem no topo da escadaria.	83

Glossário, acrónimos e abreviaturas

Glossário de termos

Head Mounted Display – Dispositivo de visualização que se coloca em frente aos olhos, semelhante a uns óculos ou capacete, este permite reproduzir imagens criadas por computador, estas são projetadas num ecrã muito próximo dos olhos do utilizador ou diretamente sobre a retina.

Rendering – Síntese de imagem. Processo de mostrar um conjunto de dados informáticos em forma de imagem.

Tracking – Processo utilizado, em Realidade Aumentada, para alinhar objetos virtuais e reais.

Lista de Acrónimos

Sigla	Expansão
--------------	-----------------

2G, 2.5G, 3G, 3.5G, 4G	(número) geração de Redes de telefones móveis
------------------------	---

6DOF	Six degrees of freedom
------	------------------------

AP	Access Point
----	--------------

AR	Augmented Reality
----	-------------------

AV	Augmented Virtuality
----	----------------------

ARM	Advanced RISC Machine
-----	-----------------------

CAD	Computer-aided Design
-----	-----------------------

CD	Compact Disc
----	--------------

CPU	Central Processing Unit
-----	-------------------------

FPS	Frames Per Second
-----	-------------------

GPRS	General Packet Radio Service
------	------------------------------

GPS	Global Positioning System
-----	---------------------------

GPU	Graphics Processing Unit
-----	--------------------------

GSM	Global System for Mobile Communications
-----	---

HDMI	High-Definition Multimedia Interface
------	--------------------------------------

HMD	Head Mounted Display
-----	----------------------

Sigla	Expansão
LTE	Long-Term Evolution
MARS	Mobile Augmented Reality System, Mobile Augmented Reality Unit
MR	Mixed Reality
PDA	Personal Digital Assistant
PC	Personal Computer
PCMCIA	Personal Computer Memory Card International Association
RAM	Random Access Memory
RFID	Radio-Frequency Identification
RSSI	Received Signal Strength Indication
RTK	Real-Time Kinematic
SBC	Single Board Computer
SDK	Software Development Kit
GIS	Geographical Information System
UMPC	Ultra-Mobile Personal Computer
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
USB	Universal Serial Bus
VGA	Video Graphics Array
Wi-Fi	Wireless Fidelity
WLAN	Wireless Local Area Network
WPAN	Wireless Personal Area Network
VR	Virtual Reality
WWAN	Wireless Wide Area Network

Abreviaturas

Abreviatura	Significado
e. g.	por exemplo
et. al.	e outros (autores)
etc.	etcetera, outros

1 Introdução

A Realidade Aumentada (Augmented Reality, AR) caracteriza-se pela sobreposição de informação virtual, sobre a visualização que o utilizador tem do mundo real. A possibilidade de visualizar, no local, essa informação, aumenta a experiência perceptual do utilizador, permitindo uma melhor compreensão da integração dos conteúdos virtuais com o ambiente real (Azuma, 1997). Com a adição de mobiliade, a AR tem sido usada com sucesso em diversas áreas como turismo, navegação, treino e educação, entretenimento, montagem e manutenção (Papagiannakis, Singh, & Magnenat-Thalmann, 2008).

Nos primeiros sistemas de AR móvel o utilizador tinha de transportar consigo uma Unidade Móvel de Realidade Aumentada (Mobile Augmented Reality Unit, Mobile Augmented Reality System, MARS), esta incluía um *head-mounted display* (HMD), uma câmara de vídeo, um computador portátil numa mochila com vários sensores a ligados a este, exemplos deste género são (Cheok et al., 2003; Dahne & Karigiannis, 2002; S. Feiner, MacIntyre, Hollerer, & Webster, 1997; Michael Kalkusch et al., 2002; Thomas et al., 2000). Contudo estes sistemas eram pesados, de grande porte e com um elevado número de cabos, o que dificultava a mobilidade dos utilizadores, também o preço dos mesmos era exorbitante que empresas apostassem na sua comercialização.

Porém, ao longo dos anos, foram-se procurando alternativas, como com a utilização de Personal Data Assistants (PDAs), Ultra Mobile Personal Computers (UMPCs) e telemóveis, mas estes dispositivos apesar de serem mais leves tinham fraco poder computacional o que limitava o tipo de aplicações a suportar, normalmente o ecrã tinha um tamanho reduzido e não era fornecida uma experiência tão imersiva ao utilizador (Carmigniani et al., 2010). Hoje em dia encontram-se à venda e a preços acessíveis vários dispositivos com melhores características que os citados anteriormente, como o caso dos *smartphones* e *tablets*, estes têm integrados em si vários tipos de sensores, desde sensores inerciais, recetores de coordenadas Global Positioning System (GPS), câmaras de vídeo de alta resolução, capacidade de comunicação em redes sem fios, ecrãs sensíveis ao toque, entre outros (Ana Regina M. Cuperschmid & Marcia Regina de Freitas, 2013). Com estas características, apesar de ainda não se garantir experiências com o grau de imersividade das MARS baseadas em computadores numa mochila estes dispositivos tornam-se uma forma barata de se contruírem sistemas de AR móvel de baixo custo.

O número de aplicações de AR cresceu nos últimos anos, devido à disseminação dos *smartphones* e *tablets*. Tal deve-se à existência de diversas ferramentas para a construção rápida e eficiente de aplicações de AR com base em vários tipos de abordagens de funcionamento, desde a detecção de marcadores fiduciais, com base na posição e orientação do utilizador, ou através do reconhecimento de características naturais das imagens captadas pelas câmaras dos dispositivos. Exemplos de ferramentas deste género são (Layar, 2015; Metaio GmbH, 2015b; Qualcomm, 2015; Wikitude GmbH, 2015).

Neste sentido pretendem-se propor vários protótipos de MARS *lowcost* e com peso reduzido, mas fornecendo uma boa experiência aos utilizadores e com um desempenho aceitável. Pois, com o avanço tecnológico e com a miniaturização dos dispositivos, tal torna-se possível ao contrário do que se sucedia no final da década de 90 e início dos anos 2000. Pretendem-se então apresentar alternativas às soluções expostas por outros autores com dispositivos modernos, leves, mais baratos e com uma performance aceitável.

1.1 Objetivos

Pretende-se desenhar e construir protótipos de MARS, utilizando-se dispositivos comerciais atuais, capazes proporcionarem a melhor experiência imersiva e de conforto ao utilizador com um custo comportável. Para isso, os objetivos desta dissertação são:

- Realizar um estudo sobre as diversas soluções, existentes na bibliografia, para se aferir os componentes chave de um sistema de AR móvel;
- Definir uma arquitetura de sistema para MARS;
- Construir vários protótipos de MARS com base na arquitetura proposta;
- Desenvolver e adaptar componentes de *software* necessários para a integração de todos os sistemas com base na arquitetura proposta;
- Realizar uma avaliação da performance dos protótipos propostos;
- Realizar testes junto de utilizadores para obtenção de *feedback* sobre o conforto e a experiência proporcionada.

1.2 Metodologia

Para a realização deste trabalho foi realizado um levantamento bibliográfico sobre os conceitos de realidade aumentada e a evolução das principais MARS publicadas. A cada uma das MARS foi dada ênfase à sua arquitetura, constituição e aplicabilidade.

Numa segunda fase, foi identificada e caracterizada a arquitetura global para MARS e propostos vários protótipos de MARS baseadas em diferentes tipos de dispositivos.

Seguiu-se a implementação, os testes de performance dos protótipos, e a comparação entre os diversos protótipos testados.

Por fim, foram realizadas experiências de avaliação dos protótipos propostos junto de utilizadores, em ambiente *indoor* e *outdoor*, no sentido de apurar o conforto e a experiência proporcionada pelos protótipos. No final da experiência, os utilizadores responderam a um questionário, a partir do qual se analisou comparativamente a avaliação de cada um dos protótipos testados.

1.3 Organização da dissertação

Esta dissertação encontra-se dividida em 6 capítulos. Estes descrevem os detalhes da pesquisa e implementação do trabalho e estão organizados da seguinte forma:

No capítulo 2 foi realizado um levantamento do estado da arte sobre a AR, onde são analisados e descritos os principais conceitos com principal foco na AR móvel. São descritos os principais constituintes de um sistema típico de AR móvel. É ainda realizada uma análise a vários projetos de AR móvel.

O capítulo 3 apresenta uma arquitetura geral para MARS acompanhada da respetiva especificação. São ainda propostos vários protótipos de MARS que seguem essa arquitetura, estes têm diferentes níveis de imersividade, peso, preço e tipos de utilização.

No capítulo 4 são apresentados os resultados de uma avaliação de performance efetuada aos vários protótipos, essa consistia na execução de várias aplicações em todos os protótipos. É explicada a metodologia seguida nesta avaliação bem como, as aplicações desenvolvidas, o seu funcionamento, objetivos e *software* utilizado. São ainda apresentados os resultados desta avaliação.

O capítulo 5 apresenta a descrição e resultados de outro tipo de testes, testes com utilizadores. São descritas duas experiências realizadas junto de utilizadores, é exposta a constituição e procedimento das duas experiências. Uma num contexto *indoor*, outra num contexto *outdoor*. São apresentados os resultados das experiências obtidos através de questionários.

Já o capítulo 6 conclui o trabalho, apresentando as principais conclusões retiradas deste trabalho, e algumas propostas de trabalho futuro.

2 Estado da arte

Neste capítulo é apresentado o conceito e enquadramento da AR com principal foco na AR móvel, é realizada uma breve abordagem à sua história, através da análise de diversas publicações, é ainda descrita a arquitetura típica de um sistema de realidade aumentada móvel. Em relação a este tipo de sistemas, são apresentados os vários dispositivos de processamento que foram utilizados ao longo dos tempos, são expostas as várias abordagens utilizadas para a visualização de conteúdos, são apontados os vários tipos de *tracking*, tipos de redes sem fios que podem ser utilizadas e algumas limitações deste tipo de sistemas. É ainda apresentada uma revisão bibliográfica de vários projetos onde são utilizados sistemas de AR móvel, de forma a perceber-se os componentes de *hardware* necessários para se ter um sistema capaz de fornecer uma boa experiência na execução de aplicações de AR.

2.1 Realidade aumentada

A AR é uma área que visa facilitar e potencializar a interação entre o utilizador e aplicações computacionais, através da adição de conteúdos virtuais ao mundo real. A evolução tecnológica permitiu o surgimento da AR, esta, ao longo dos anos, tem vindo a sofrer melhorias e a ser aplicada em várias áreas. Uma dessas melhorias foi a capacidade de criação de sistemas de AR móvel, abrindo assim o caminho à criação de novos campos de aplicabilidade.

2.1.1 Conceito de Realidade aumentada

A definição de AR que mais consenso gerou na bibliografia foi a de Ronald Azuma (1997), este define AR como um meio em que é permitido ao utilizador ver o mundo real com objetos virtuais sobre este, considerando-se a AR como um complemento da realidade. Este expõe que numa visão ideal, para o utilizador a experiência seria que os elementos reais e virtuais parecessem coexistir num único espaço. Para Azuma (1997) a AR pode ser pensada como um meio-termo entre Realidade Virtual (Virtual Reality, VR) e um mundo totalmente real. Por outro lado a VR imerge completamente o utilizador dentro de um ambiente sintético, gerado por computador, e enquanto imerso o utilizador não consegue visualizar o mundo real (Azuma, 1997). Feiner, MacIntyre, Hollerer e Webster (1997) vão de encontro às ideias de Azuma referindo que num ambiente de AR o mundo virtual suplementa o mundo real com informação adicional, ao contrário da maioria dos ambientes virtuais, como no caso da realidade virtual (VR), em que o mundo virtual substitui o real (S. Feiner et al., 1997). Portanto, uma definição

mais simplista de AR pode ser o processo de sobreposição e alinhamento de imagens geradas por computador sobre a visualização do utilizador no mundo real (Wayne Piekarski & Thomas, 2002). Assim sendo, a percepção do utilizador no mundo real é reforçada por informação gerada por computador como elementos tridimensionais, textuais ou até em forma de áudio. A interação com esses elementos acontece em tempo real dando ao utilizador a sensação de uma integração natural (Reitmayr & Schmalstieg, 2004).

A definição de Azuma não limita os sistemas de AR ao uso de determinados equipamentos, como Head Mounted Displays (HMDs), contudo, para se considerar um sistema de AR, este tem de ir ao encontro de três características: combinar objetos reais e virtuais no ambiente real; operar interactivamente e em tempo real; alinhar objetos reais e virtuais entre si. Esta definição não limita assim a AR a sistemas com determinado tipo de *hardware*. Portanto, os sistemas de AR permitem combinar objetos reais e virtuais num único ambiente, em tempo real e em movimento, dado a esses sistemas um grande potencial de aplicabilidade em várias áreas.

Paul Milgram e Fumio Kishino, definiram em 1994 (Milgram & Kishino, 1994), uma taxonomia para classificação de ambientes virtuais, onde é proposto o “Virtuality Continuum” ou “Contínuo de Virtualidade”, exposto na Figura 1, cujos seus extremos vão desde um ambiente totalmente virtual (VR) até um ambiente completamente real. Entre estes extremos está presente a Realidade Mista (Mixed Reality, MR), que representa os níveis de mistura entre o mundo real e o conteúdo virtual. Neste contexto a AR pode ser caracterizada pela predominância do conteúdo real sobre o virtual permitindo a inserção de objetos virtuais no mundo real, enquanto com a virtualidade aumentada (Augmented Virtuality, AV) acontece o oposto, existe predominância do virtual sobre o real e a possibilidade de inserir objetos reais num mundo virtual.

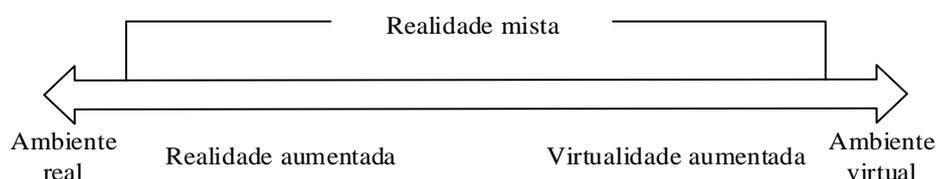


Figura 1 Representação simplificada do "contínuo de virtualidade" (adaptado de (Milgram & Kishino, 1994)).

Com o uso destas tecnologias pode-se aumentar a perceção e interação com o mundo real. Os objetos reais podem apresentar informação que o utilizador pode não detetar com os seus próprios sentidos, ajudando-o a realizar tarefas no mundo real.

A AR móvel assim como a AR, também complementa a exibição, no mundo real, de conteúdos virtuais em vez destes substituírem a realidade, a sua utilização é adequada em cenários que os utilizadores precisam de informação adicional para a realização de uma determinada tarefa sem se perder o foco na execução da mesma (Huang, Hui, Peylo, & Chatzopoulos, 2013).

Papagiannakis et al. (2008) estendem a definição de Azuma para a aplicação em sistemas de AR móvel, sendo os requisitos deste:

- Combinar objetos reais e virtuais num ambiente real;
- Funciona em tempo real e com recurso mobilidade;
- Alinha os objetos reais e virtuais entre eles;
- O aumento virtual é baseado em objetos dinâmicos ou objetos tridimensionais.

Assim, não existe nenhuma restrição a tipos de tecnologia a utilizar para um sistema de AR móvel. Tornando-se esta definição adequada a vários tipos de dispositivos móveis, tais como, *smartphones* e *tablets*, computadores portáteis ou *wearable computers*. Qualquer sistema com todas as características supracitadas pode ser então encarado como um sistema de AR móvel.

Os componentes básicos de um sistema de AR móvel são: plataforma computacional, ecrã, *tracking* (registo), redes de computadores sem fios, interação e *software*. Uma MARS bem construída deve permitir ao utilizador focar-se mais no uso do sistema que no equipamento que está a utilizar (Papagiannakis et al., 2008). Para Papagiannakis et al. (2008) uma MARS ideal deveria incluir apenas um par de óculos de sol com possibilidade de visualização de gráficos tridimensionais em alta definição com um computador integrado, com suporte a comunicação em redes sem fios e incluir um módulo de *tracking* de alta precisão. Não necessitando o utilizador de transportar qualquer outro tipo de equipamento para experienciar AR móvel.

2.1.2 Breve história

A história da AR é tão longa como a dos computadores. Esta foi introduzida nos finais da década de sessenta após a invenção do primeiro HMD, apresentado na Figura 2, por Ivan Sutherland (pioneiro da computação gráfica), que era então utilizado como dispositivo de visualização para a AR (Sutherland, 1968). Este HMD usava um monitor *optical see-through* para apresentação da informação. Em 1975, Myron Krueger criou o Videoplace, um sistema onde os utilizadores, pela primeira vez, interagiam com objetos virtuais através de gestos (Krueger, 1991).

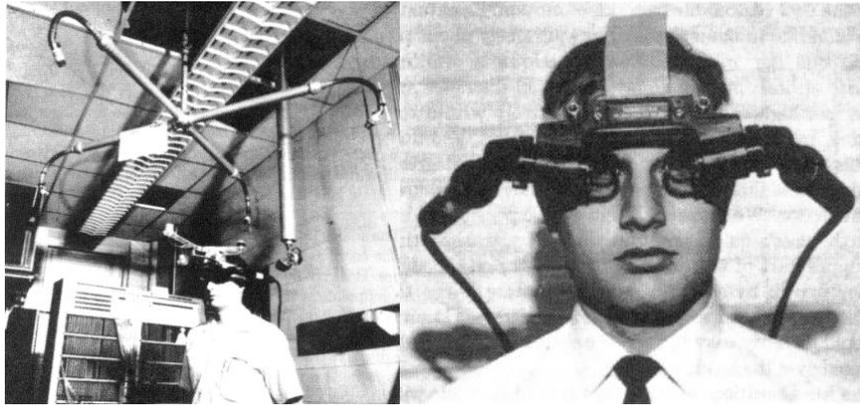


Figura 2 Primeiro HMD (adaptado de (Sutherland, 1968)).

Apesar de tudo, o termo AR ainda não tinha sido utilizado até este ser cunhado por Tom Caudell e David Mizell em 1992, na Boeing Corporation enquanto estavam a desenvolver um sistema experimental de AR para ajudar os trabalhadores a juntar cablagens (Caudell & Mizell, 1992).

Na década de 90 os dispositivos tecnológicos pessoais tornaram-se pequenos o suficiente para serem transportados e utilizados a maior parte do tempo. Steven Feiner, Macintyre e Seligmann (1993) apresentaram o primeiro artigo científico completamente focado num sistema de AR denominado de Karma (Steven Feiner et al., 1993). Milgram e Kishino (1994) introduziram o “Continuum de Virtualidade” onde colocavam a AR como uma visão do mundo real mais algum conteúdo virtual sobre este, como já referido. Entretanto Rekimoto, em 1996, introduziu marcadores de matrizes bidimensionais que permitiam *tracking* com 6 graus de liberdade (6 *degrees of freedom*, 6DOF) através de câmaras de vídeo (Rekimoto, 1998).

Mais tarde, Mann desenvolveu o primeiro sistema *outdoor* baseado em GPS. O sistema fornecia assistência para pessoas com capacidades de visão reduzida (Mann, 1997). Feiner et al. (1997) criaram um protótipo de um sistema de AR móvel que apresentava conteúdos tridimensionais com informação de edifícios e objetos em torno do utilizador (S. Feiner et al., 1997). O primeiro artigo de *survey* da AR foi escrito por Azuma, este apresentava um relatório sobre o tópico, a

definição dada neste documento acolheu grande aceitação por parte dos investigadores (Azuma, 1997). Em 1998, surgiria ARToolKit, um *software* que fornecia ajuda a construir aplicações de AR. Este permitia *tracking* com 6DOF utilizando marcadores fiduciais quadrados através da comparação de *templates* (Kato & Billinghurst, 1999). Em 2000, Thomas et al. desenvolveram o primeiro jogo de AR *outdoor*, ARQuake (Thomas et al., 2000). Várias conferências surgiram completamente dedicadas à AR, captando a atenção de mais equipas de investigação em torno da área.

Inicialmente, a AR era apenas vista com uma estreita aplicabilidade, em áreas como a medicina, indústria e o setor militar. Atualmente esta é utilizada em quase todos os campos como jogos, entretenimento, navegação, identificação de objetos, comunicação com base no posicionamento, treino, educação, entre outros (Rabbi & Ullah, 2013). Krevelen e Poelman (2010) discutem várias áreas de aplicabilidade da AR. Estes categorizam as aplicações sistemas de informação pessoal (assistência pessoal e publicidade, navegação, visita guiada), aplicações industriais e militares (design, montagem, manutenção, combate e simulação), aplicações médicas, entretenimento (transmissão de conteúdos desportivos, jogos, filmes), aplicações de escritório, educação e treino (van Krevelen & Poelman, 2010).

Os requisitos tecnológicos da AR são muito mais exigentes que a VR, por isso é que o campo da AR demorou mais a atingir a maturação. Contudo, os componentes chave necessários para construir um sistema de AR continuam os mesmos desde a criação de Ivan Sutherland, com o recurso a monitores, *trackers*, processamento computacional, processamento gráfico e *software* (van Krevelen & Poelman, 2010).

Ao longo dos anos vários projetos surgiram, alguns destes serão abordados na subsecção 2.2, foram utilizados vários dispositivos para fornecer a informação ao utilizador e, ao mesmo tempo, garantir mobilidade. Atualmente um grande número de aplicações de AR foram desenvolvidas ajudando os seus utilizadores a realizar as mais variadas tarefas. Principalmente depois do lançamento dos *smartphones* e *tablets* de última geração.

Com os avanços na computação móvel, surgiu a capacidade de criar novas experiências que melhoraram a forma de adquirir, interagir e apresentar informações dentro do mundo que nos rodeia. Melhorias/surgimento de constituintes dos dispositivos móveis como câmaras integradas, vários tipos de sensores, bom poder de processamento tornaram a AR possível em dispositivos móveis (Huang et al., 2013). O ser humano é capaz de juntar informações de nossos sentidos e dispositivos móveis de várias formas que antes não eram possíveis. Estima-se que em 2020 a AR e VR consigam criar uma receita de 150 mil milhões de dólares (Merel, 2015), no qual a AR gerará uma receita de 120 mil milhões de dólares, enquanto, a VR ficará com uma fatia de 30 mil milhões de dólares.

2.1.3 Arquitetura típica de um sistema de realidade aumentada móvel

Um sistema de AR móvel tem o intuito de fornecer uma experiência de AR em movimento de acordo com o contexto onde o utilizador está inserido. Estes possuem vários componentes que utilizados em conjunto tornam possível a realização de experiências de AR com vários níveis de envolvimento e as mais diversas finalidades. Os componentes principais de um sistema de AR móvel são: a sua plataforma computacional, dispositivo de visualização, dispositivos de *tracking*, comunicação em redes sem fios, interação e *software*.

2.1.3.1 Dispositivos de processamento

A alta mobilidade que os sistemas de AR móvel necessitam que sejam prestados serviços independentemente do local onde o utilizador está inserido, assim sendo, é necessário que as plataformas móveis sejam pequenas e leves. Ao longo dos anos, vários dispositivos foram utilizados para realizar tarefas de processamento em sistemas de AR móvel, mas nem sempre tinham o peso ou tamanho ideais. Nos últimos anos, existiram avanços significativos na miniaturização e desempenho das plataformas de computação móvel abrindo a AR para um novo leque de dispositivos.

Inicialmente, nos primeiros protótipos de sistemas de AR móvel eram utilizados computadores portáteis ou *wearable computers*, como nos casos de (Cheok et al., 2003; Gleue & Dähne, 2001; Hughes, Stapleton, Hughes, & Smith, 2005; Michael Kalkusch et al., 2002; W. Piekarski, Smith, & Thomas, 2004; Schmeil & Broll, 2006; Tamura, Yamamoto, & Katayama, 2001; Thomas et al., 2000; Weiser, 1999), estes eram utilizados frequentemente em conjunto com outros dispositivos montados numa mochila, ficando os utilizadores com as suas mãos livres para interação com o sistema. Em comparação aos computadores *desktop*, os computadores portáteis são mais flexíveis para serem transportados, contudo, o seu peso e tamanho não eram

os ideais para aceitação dos utilizadores. A utilização deste tipo de abordagem contém desvantagens como o peso excessivo colocado sobre a zona lombar do utilizador e existe ainda a necessidade do uso de um HMD para a visualização dos conteúdos devido à inexistência de monitores.

A utilização de Tablet Personal Computers (Tablet PCs) para correr aplicações de AR móvel também se tornou popular. Várias aplicações foram construídas neste tipo de dispositivo (Ferdinand, Müller, Ritschel, & Wechselberger, 2005; Guven, Feiner, & Oda, 2006; Klein & Drummond, 2004; Quarles, Lampotang, Fischler, Fishwick, & Lok, 2008; Renevier, Nigay, Bouchet, & Pasqualetti, 2005; Santos et al., 2007; D. Schmalstieg & Wagner, 2007). Tablet PCs que eram dispositivos portáteis capazes de serem transportados segurando-se com as mãos em que a interação com o mesmo pode ser realizada através do toque ou com uma caneta facilitando com os conteúdos apresentados. Para além de serem caros, estes dispositivos possuíam um peso excessivo para serem transportados numa única mão (Wagner, Pintaric, Ledermann, & Schmalstieg, 2005). Contudo o uso deste tipo de dispositivos reduz o peso e dimensão do sistema em comparação aos computadores portáteis numa mochila. Uma nova geração deste tipo de dispositivos surgiu após o lançamento do iPad da Apple (Waters, 2010), em 2010, fazendo surgir *tablets* mais leves, mantendo um ecrã de com boas dimensões, com mais sensores, conexão a redes sem fios, câmaras e recetores de coordenadas GPS, este tipo de dispositivos tornaram-se mais acessíveis pois tinham um preço mais baixo que os dispositivos de primeira geração (TabTimes, 2014).

Personal Digital Assistants (PDAs), durante muito tempo foram a única alternativa à criação de soluções de AR altamente portáteis, este tipo de dispositivo caracterizava-se por ter um ecrã a cores, GPS e navegação na WEB. Várias aplicações de AR móvel foram desenvolvidas para este tipo de dispositivo (Barakonyi & Schmalstieg, 2006; Goose, Güven, Zhang, Sudarsky, & Navab, 2004; Herbst, Braun, McCall, & Broll, 2008; Mantyjarvi, Paternò, Salvador, & Santoro, 2006; Paman & Woodward, 2003; Reitmayr & Drummond, 2006; Wagner et al., 2005). Mas estes dispositivos possuíam limitação de não terem suficiente poder computacional, a solução para estes casos passava pela utilização de um servidor remoto para realização de processamento, servindo o PDA para envio e receção de informação e apresentação desta ao utilizador. Existiam dificuldades em lidar com objetos tridimensionais (Papagiannakis et al., 2008). Estes dispositivos tinham, por norma, monitores de pequenas dimensões que limitavam o campo de visão e a resolução dos conteúdos apresentados (Huang et al., 2013).

Ultra Mobile PCs (UMPCs) foram utilizados em várias aplicações de AR móvel (Kang et al., 2008; Kruijff, Mendez, Veas, & Gruenewald, 2010; Joseph Newman, Schall, Barakonyi, Schürzinger, & Schmalstieg, 2006; Tokusho & Feiner, 2009; Zollner, Keil, Wust, & Pletinckx, 2009). Estes possuíam poder de processamento suficiente para lidar com os requisitos das aplicações de AR da época, mas foram concebidos para o mercado empresarial e a sua disseminação ficou impedida pelo seu alto preço, à semelhança dos PDAs estes tinham um tamanho de ecrã reduzido (Huang et al., 2013).

Os telemóveis também foram utilizados para AR móvel, desde o primeiro protótipo num telemóvel (Mohring, Lessig, & Bimber, 2004), estes dispositivos, com a evolução tecnológica, melhoraram em termos de componentes como é o caso das câmaras, sensores, processadores e *hardware* dedicado a processamento gráfico (embora muito limitado). A câmara integrada era utilizada como forma de se obter um ecrã *video see-through* e os sensores ajudavam na obtenção da pose do *tracking*. Vários foram os projetos onde estes dispositivos foram aplicados (Greene, 2006; Henrysson & Ollila, 2004; Henrysson, Ollila, & Billinghurst, 2005; Morrison et al., 2009; Rohs, 2007; Dieter Schmalstieg & Wagner, 2009; Gabriel Takacs et al., 2008).

Mais tarde, os conceitos dos telemóveis e PDAs emergiram num só, levando ao surgimento dos *smartphones* (Wagner & Schmalstieg, 2009). A utilização deste tipo de dispositivos aumentou o leque de aplicações da AR, estes reúnem as capacidades dos PDAs com melhor capacidade de processamento e mais sensores, suportando desde aplicações completas de AR a aplicações de AR do tipo cliente-servidor. Estes dispositivos, com o passar dos anos, tornaram-se predominantes no uso da AR móvel devido a serem pouco intrusivos, aceites socialmente e terem alta portabilidade (Papagiannakis et al., 2008). Vários foram os sistemas que tinham como constituinte este dispositivo, ou desenhados para correr sobre este (Ahn & Han, 2012; Domhan, 2010; Gattullo Michele, Di Donato Michele, & Sorrentino Fabio, 2013; Mohammed-Amin, Levy, & Boyd, 2012; Tokusho & Feiner, 2009).

Para que a AR móvel atinja um novo nível, surgiram novos tipos de dispositivos como é o caso dos óculos de AR ou *smartglasses*. Este tipo de dispositivos fornece uma boa experiência de AR sem ocupar as mãos e com a menor intrusão possível. Contudo por não estarem disseminados e serem recentes no mercado o seu preço é alto para o utilizador comum e ainda existem poucas aplicações desenvolvidas para os mesmos. Exemplos de *smartglasses* são os Google Glasses¹, Epson Moverio² e os Hololens³, futuro dispositivo de AR da Microsoft.

A Tabela 1 apresenta os vários tipos de dispositivos abordados, nesta é comparado o seu poder de processamento, capacidade de *rendering*, as formas mais comuns de interação, portabilidade e autonomia.

Tabela 1 Tipos de dispositivos utilizados para processamento em sistemas de AR móvel (adaptado de (Huang et al., 2013)).

Plataforma	Poder computacional	Capacidade de <i>rendering</i>	Interação	Portabilidade	Autonomia (horas)
Computador portátil	Alto	Alto	Teclado/rato	Baixa	2 a 4
PDA	Baixo	Baixo	Teclado/caneta	Alta	4 a 6
<i>Tablet PC</i>	Médio	Médio	Canela/toque	Média	5 a 8
UMPC	Médio	Médio	Teclado/caneta/toque	Média	4 a 8
Telemóvel	Baixo	Baixo	Teclado	Alta	5 a 8
<i>Smartphone</i>	Médio	Médio	Toque	Alta	6 a 9
<i>Tablet 2ª geração</i>	Médio	Médio	Toque	Média	6 a 10
<i>Smartglasses</i>	Baixo	Baixo	Toque/voz	Alta	5 a 8

¹ <https://www.google.com/glass>

² <https://www.epson.pt/moverio>

³ <https://www.microsoft.com/microsoft-hololens>

2.1.3.2 Dispositivos de visualização

O componente de visualização é o componente responsável pelo *output* de um sistema de AR. Este pode ser utilizado para apresentar o *user interface*, dados multimédia, o mundo real e o conteúdo aumentado (Gleue & Dähne, 2001). Existem vários tipos de monitores utilizados para a realidade aumentada, estes podem ser do tipo *optical see-through* ou *video see-through*. Os monitores podem ser posicionados na cabeça do utilizador como é o caso dos HMD, contudo estes necessitam de estar conectados a um dispositivo de processamento, tipicamente um computador portátil, para apresentação de conteúdos, o que reduz a mobilidade devido ao peso e à duração da bateria do dispositivo. Outra abordagem são os monitores de dispositivos móveis, sendo esta uma solução para levar a AR a um maior número de utilizadores, devido aos menores custos de produção e facilidade de utilização (van Krevelen & Poelman, 2010) .

Os monitores *optical see-through*, são apresentados normalmente num formato de HMD, estes permitem a visualização do mundo real com objetos virtuais neles sobrepostos (Papagiannakis et al., 2008). As imagens emitidas pelos HMDs *optical see-through* são apresentadas em frente ao olho do utilizador, existindo algum grau de transparência para que o utilizador consiga visualizar o mundo real ao mesmo tempo que visualiza os objetos virtuais, normalmente este tipo de monitores reduzem a luz que vem do mundo exterior, são mais seguros que os HMD *video see-through* pois permitem a visualização do mundo real tal como este é mesmo se o sistema falhar. Esta abordagem tem a desvantagem dos conteúdos virtuais reduzirem o brilho, contraste e a perceção tanto do conteúdo virtual como do mundo real tornando esta técnica menos aconselhável para uso em ambientes exteriores (Carmigniani et al., 2010).

Já os HMD *video see-through*, são mais fáceis e baratos de implementar (van Krevelen & Poelman, 2010), para o utilizador poder visualizar imagens do mundo real é necessária a utilização de, pelo menos, uma câmara, combinando-se as imagens recolhidas por esta com conteúdo virtual. Em relação aos HMD *optical see-through* esta abordagem tem várias vantagens. Como os conteúdos são digitais é mais fácil de remover objetos da realidade, esta remoção é chamada de realidade diminuída (Azuma, 1997) e pode ser utilizada para substituir marcadores ou mesmo objetos reais. Não existe tanta diferença no brilho e contraste dos objetos em relação às imagens do mundo real. Como desvantagens este tipo de ecrãs apresenta uma baixa resolução da realidade, campo de visão reduzido e pode causar desorientação nos utilizadores devido à distância das câmaras em relação à verdadeira posição dos olhos produzindo um esforço extra ao normalmente exercido pelo utilizador (Biocca & Rolland,

1998), ecrãs HMD *video see-through* em que a mesma imagem seja apresentada nos dois olhos os utilizadores podem vir a sofrer de tensão e fadiga ocular, o mesmo não se sucede tão frequentemente em HMDs com ecrãs monoculares ou binoculares (van Krevelen & Poelman, 2010).

A Figura 3 dois dispositivos, um representa um HMD *optical see-through* e outro um HMD *video see-through*. Comparando-se *optical* com *video see-through*, nos segundos os conteúdos virtuais são menos afetados pelas condições envolventes mas existem problemas na latência do sistema e a resolução de vídeo não é a ideal em comparação com a realidade (Huang et al., 2013).



Figura 3 Exemplo de HMDs: à esquerda HMD *optical see-through* (Seiko Epson Corporation, 2014), à direita HMD *video see-through* (Vuzix, 2014).

Para além dos HMDs, ao longo dos anos, para AR móvel, também se utilizaram os ecrãs de dispositivos móveis. Esta abordagem é semelhante à utilizada nos HMD *video see-through*, através da câmara integrada no dispositivo para a aquisição de imagens do mundo real, em seguida, estas são unidas com o conteúdo virtual para posteriormente serem apresentadas no monitor ao utilizador. Este modo é predominante nas aplicações de dispositivos móveis de hoje-em-dia (Huang et al., 2013). Vários foram os dispositivos móveis utilizados para aplicações de AR como é o caso de: *tablet PCs*, *UMPCs*, *PDA*s, *telemóveis*, *smartphones* e *tablets* (Zhou, Duh, & Billinghurst, 2008). Esta abordagem é menos intrusiva, pois os dispositivos utilizados são aceites socialmente, altamente móveis e mais baratos, em comparação com os HMD. Apesar de esta abordagem permitir mais mobilidade o tamanho dos monitores é reduzido, contudo, os *tablets* têm monitores maiores mas requerem que se use as duas mãos para visualização dos conteúdos aumentas e com tempo de utilização podem se tornar cansativos (Carmigniani et al., 2010).

2.1.3.3 Tracking

Em aplicações de AR é necessário que exista alguma precisão na posição e orientação do utilizador para alinhar ou registar a informação virtual com os objetos reais (Papagiannakis et al., 2008). Logo, o processo de *tracking* serve para avaliar a informação da pose do dispositivo para o correto alinhamento do conteúdo virtual com os objetos físicos do mundo real (Huang et al., 2013). Este é um dos principais desafios para desenvolver um sistema de AR. Um sistema de *tracking* preciso é necessário para os sistemas de AR pois o mais pequeno erro pode causar um claro desalinhamento entre os objetos reais e virtuais (Wang & Dunston, 2007). Esta ação pode realizar-se de várias formas, como apresentado na Figura 4, através de sensores que utilizam campos eletromagnéticos e inerciais, ultrassons e ondas de rádio para medir e calcular a informação da pose; ou baseados em imagem, através da análise das imagens capturadas por uma câmara, estas estimam a relação entre a pose da câmara e características que se pretendam encontrar no mundo real; outros métodos de *tracking*, métodos híbridos, englobam a junção de métodos baseados em visão com sensores. Devido à facilidade de encontro e baixo preço de câmaras de vídeo hoje-em-dia existe um maior investimento em técnicas de *tracking* que utilizem imagens capturadas por câmaras (Georg Klein, 2006).

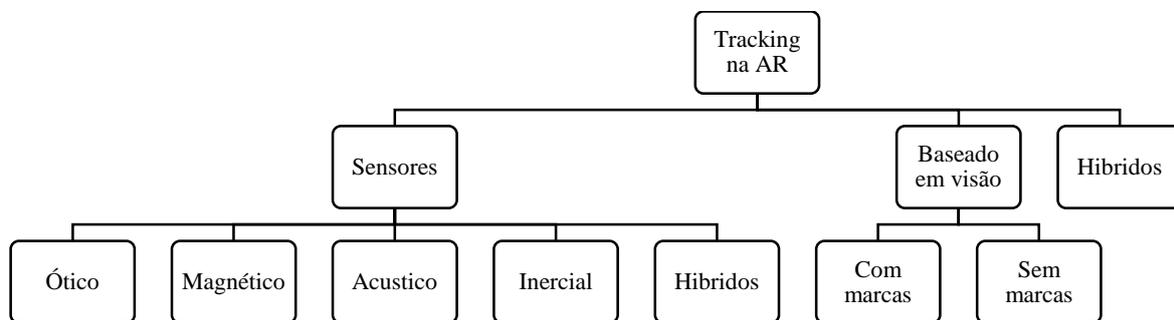


Figura 4 Classificação dos vários tipos de *tracking* (adaptado de (Rabbi & Ullah, 2013)).

Métodos baseados em sensores

Muitos **sensores inerciais** fornecem como dados de *output* a aceleração, neste caso, utilizada ao longo do tempo para obter a posição e angulo do sensor. Este método é capaz de funcionar em várias condições sem limitações. Vários sistemas recorreram a este tipo de sensores (Höllerer et al., 2001; Lang, Kusej, Pinz, & Brasseur, 2002; Randell, Djiallis, & Muller, 2003; White, Feiner, & Kopylec, 2006). Este tipo de sensores pode sofrer desvios (*drift*) devido a possíveis interferências externas, mas este problema pode ser corrigido através de uma recalibração periódica dos sensores (Huang et al., 2013).

As técnicas de *tracking* baseadas no **campo magnético** utilizam este para obtenção da orientação, combinado com outros métodos de *tracking* posicional pode-se obter 6DOF. Este método de *tracking* pode sofrer de distorção do seu *output* quando próximo de outros campos magnéticos (Ullah, 2011). Vários foram os sistemas que recorreram à utilização deste tipo de técnica (Belimpasakis, Selonen, & You, 2010; Höllerer, Wither, & DiVerdi, 2007; Renevier & Nigay, 2001; Wither & Hollerer, 2005).

Os métodos de *tracking* **eletromagnéticos**, são métodos de *tracking* que podem ser aplicados para detetar a posição do utilizador, estes envolvem várias tecnologias que exploram o espectro do rádio. O sistema mais utilizado para *tracking* posicional em espaços exteriores é o Global Positioning System (GPS), este é baseado no tempo de medição e pode ser aplicado em quase todos os espaços a céu aberto, excetuando ruas estreitas, locais onde a vista para o céu é coberta por árvores ou edifícios altos que impeçam a obtenção de sinal de, pelo menos, quatro satélites (Michael Kalkusch et al., 2002). A precisão de localização pode variar dos 3 a 10 metros dependendo da conexão aos satélites e da continuidade do sinal recebido, esta pode ser aumentada através da utilização de GPS diferenciais (D-GPS) (Dahne & Karigiannis, 2002) e Real-Time Kinematic GPS (RTK GPS) (Höllerer et al., 2001) onde o sinal é corrigido por estações terrestres. Este tipo de sensores estão cada vez mais baratos e disponíveis nos mais variados dispositivos, desde *smartphones*, *tablets*, *smartglasses* ou até mesmo na forma de dispositivo externo para ligação a computadores (Papagiannakis et al., 2008). Como o GPS não funciona convenientemente dentro de edifícios, uma alternativa a esta tecnologia, pode ser a medição da força do sinal de redes sem fios, pois a maioria dos dispositivos utilizados para AR móvel suportam comunicação via WLAN, e existem protocolos capazes de calcular a posição do utilizador através do Received Signal Strength Indication (RSSI) com alguma precisão. Contudo é necessária a realização de um levantamento *offline* prévio que não garante o correto funcionamento em diferentes dispositivos ou ao longo do dia (Huang et al., 2013). A tecnologia RFID (Radio-Frequency Identification) também pode ser aplicada na AR móvel (Mantjarvi et al., 2006; Ni, Liu, Lau, & Patil, 2003), esta consiste na utilização de etiquetas e de um leitor próprio tornando possível a apresentação de informações mediante o local e a posição do utilizador, contudo é necessária uma nova etiqueta para cada situação de *tracking* o que torna este método não aplicável em contextos com muitos objetos para *tracking* e em ambientes desconhecidos.

As técnicas de tracking baseadas em **ultrassons ou técnicas acústicas** são capazes de obter alta precisão de *tracking* (Huang et al., 2013). A posição e orientação do utilizador é calculada através de sons emitidos pelo emissor e o tempo que demoram a chegar aos recetores (Ullah, 2011). Contudo este tipo de tecnologia é raramente implementada nos dispositivos utilizados atualmente (Huang et al., 2013). Porém alguns protótipos de AR móvel implementaram esta tecnologia (Foxlin & Harrington, 2000; J. Newman, Ingram, & Hopper, 2001). Os sensores de ultrassons são sensíveis à temperatura, oclusão e barulho do ambiente.

Na Tabela 2 são apresentados os vários tipos de sensores utilizados para *tracking* em sistemas de AR móvel, é apresentada a sua cobertura, precisão e a sua aplicabilidade em contextos *indoor* ou *outdoor*. Para melhorar a precisão e obtenção de melhores resultados, podem ser combinados vários sensores criando-se técnicas de *tracking* híbridas baseadas em sensores.

Tabela 2 Vários tipos de sensores utilizados na AR (adaptado de (Huang et al., 2013)).

Tipo	Tipo de sensor	Cobertura	Precisão	Indoor/outdoor
Inercial	Acelerómetro	Qualquer local	0,01m	Indoor/outdoor
	Giroscópio	Praticamente em todo lado ⁴	0,2graus	Indoor/outdoor
Magnético	Magnetómetros		0,5graus	Indoor/outdoor
Eletromagnético	GPS	Praticamente em todo lado ⁵	10m a 15m	Outdoor
	DGPS		1m a 3m	Outdoor
	RTK GPS		0,01	Outdoor
	Wi-fi	Aprox. 90m	2,5m	Indoor
	RFID	Aprox 20m a 100m	1-3m	Indoor
Acústico	Ultrassons	10 m	0.01m	Indoor

⁴ Excetuando locais com campos magnéticos ou ricos em metal.

⁵ Excetuando locais sem linha de vista entre o recetor e os satélites, como junto a edifícios altos, no interior de edifícios e locais com muitas árvores.

Métodos baseados em imagem

Tracking baseado em imagem recorre à procura de características previamente definidas para estimar a pose da informação em relação aos objetos no mundo real (Bajura & Neumann, 1995). Sendo esta uma das áreas de investigação mais ativa na AR (Zhou et al., 2008). De acordo com as características do método utilizado estes podem ser classificados como baseados em marcas ou baseado em características (também conhecido como *markerless tracking*).

No ***tracking* baseado em marcas** são utilizados marcadores fiduciais para representar características artificiais a procurar nas imagens adquiridas pela câmara. Uma marca fiducial tem geometria e propriedades como forma, tamanho e padrões que as tornam facilmente identificáveis tornando-se fáceis de serem reconhecidas por técnicas de visão por computador, estas são normalmente impressas e colocadas nos locais em que se deseja realizar o *tracking* (Papagiannakis et al., 2008). A Figura 5 apresenta um exemplo de tipos de marcas fiduciais utilizadas para AR. Este tipo de marcadores têm elevada precisão e robustez mesmo com a variação das condições de iluminação, porém, não são práticos para utilização e manutenção em espaços grandes, em locais desconhecidos ou num ambiente exterior, apenas se tornam viáveis de utilizar em espaços interiores. Estes sofrem de problemas como obstrução, monotonia e oclusão (Huang et al., 2013). No entanto vários foram os sistemas que optaram por este tipo de *tracking* (Henrysson & Ollila, 2004; W. Piekarski & Thomas, 2003; Dieter Schmalstieg & Wagner, 2009; D. Schmalstieg & Wagner, 2007).

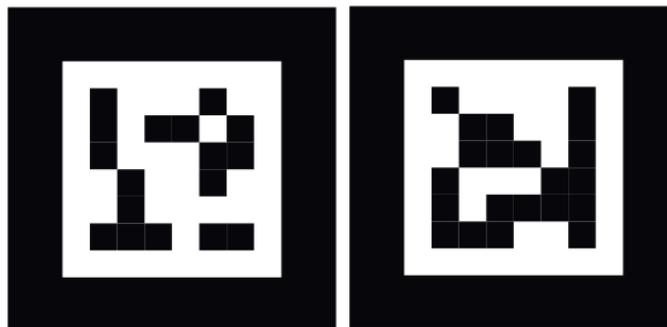


Figura 5 Exemplos de marcadores fiduciais utilizados pelo *software* Metaio SDK (metaio, 2012).

Tracking baseado em imagem sem marcas (*markerless tracking*) ou em características naturais, é utilizado para comparação de características armazenadas nas aplicações de AR com as imagens captadas no mundo real analisando-se a pose do dispositivo para colocação da informação aumentada (Huang et al., 2013). Este método não necessita de informação do ambiente onde se encontra, contudo, sofre de problemas que baixam a sua precisão como a distorção de imagem devido a movimentos com a câmara, variação de iluminação e oclusão parcial ou total das características a encontrar (Neumann & You, 1999). Vários sistemas utilizaram esta funcionalidade para realização de *tracking* (Chen, Tsai, Vedantham, Grzeszczuk, & Girod, 2009; G. Takacs, Chandrasekhar, Girod, & Grzeszczuk, 2007; Wagner, Schmalstieg, & Bischof, 2009). Existem várias técnicas capazes de realizar *tracking* em tempo real baseadas em diferentes aproximações (deteção de características naturais, deteção de arestas, reconhecimento de objetos planares, deteção de texturas, etc.), este tipo de aproximações requer um maior processamento computacional o que em conjunto com o *rendering* de objetos pode implicar uma sobrecarga computacional, podendo prejudicar a experiência de AR em dispositivos com menor poder de processamento (Papagiannakis et al., 2008).

Métodos de *tracking* híbridos

Cada método de *tracking* tem as suas vantagens e desvantagens. Através da junção dos vários métodos é possível se colmatar as várias limitações e sobressair as vantagens destes (Huang et al., 2013). A combinação de sensores inerciais que são robustos e precisos, mesmo realizando-se movimentos bruscos, utilizados em conjunto com métodos baseados em imagem podem fazer com que este último não sofra desses movimentos bruscos e continue a apresentar os conteúdos aumentados por um período de tempo maior (Papagiannakis et al., 2008). O mesmo se sucede na combinação de GPS e sensores inerciais obtendo o sistema a orientação e posição do utilizador. Vários sistemas foram os quais em que a combinação de técnicas foi utilizada para apresentar conteúdos com melhor fiabilidade (Honkamaa, Siltanen, Jäppinen, Woodward, & Korkalo, 2007; Langlotz et al., 2011; Paucher & Turk, 2010; Reitmayr & Drummond, 2006).

2.1.3.4 Comunicação em rede

As características das redes sem fios diferem das redes tradicionais baseadas em cabo no que toca à sua latência, largura de banda, flutuações nos dados e disponibilidade. Estas características têm impacto direto na performance da experiência e na variedade de aplicações de AR. Para que um sistema de AR comunique em rede sem que a sua performance seja prejudicada, a rede deve conter uma boa taxa transferência de dados, baixa latência, e suportar mobilidade. O suporte à mobilidade introduz a possibilidade de novas aplicações de AR, mas quando combinado com o conhecimento da localização essas aplicações podem tornar-se mais práticas (Papagiannakis et al., 2008). Para tal, várias redes de comunicação sem fios podem ser utilizadas por aplicações de AR móvel.

As Wireless Wide Area Networks (WWANs) são redes ideais para o uso em sistemas de AR que precisem de suporte a mobilidade de larga escala, numa região e até a nível nacional. Sistemas que forneçam informação baseada na localização são um bom exemplo de aplicações de AR nestas redes. Nesta categoria estão introduzidas as redes de telecomunicações de alta e baixa velocidade. As redes WWAN 2G como Global System for Mobile Communications (GSM) estão bem disseminadas a nível mundial, contudo a sua baixa velocidade e alta latência limitam o uso das aplicações de AR, este tipo de redes são boas para aplicações em que a maioria dos dados estão armazenados no dispositivo e a comunicação em rede é mínima (Papagiannakis et al., 2008). Para além das redes 2G existem ainda as redes 2,5G e 3G estas já desenvolvidas a pensar em conteúdos multimédia, tendo uma melhor infraestrutura de rede. A rede General Packed Radio Service (GPRS) é um tipo de rede considerada como 2.5G, esta é construída sobre a rede GSM, todavia, devido a problemas de infraestrutura a sua velocidade nem sempre é estável. A rede Universal Mobile Telecommunication System (UMTS) é considerada uma rede 3G, o seu núcleo é baseado na rede GPRS mas difere no tipo de acesso à rede (Papagiannakis et al., 2008). As redes 3G e 3.5G apesar de oferecerem maiores velocidades o seu desempenho poderia ser afetado por alguma latência. Com o surgimento das redes 4G como o caso da rede Long-Term Evolution (LTE), a velocidade e a latência melhoraram consideravelmente permitindo que mais aplicações de AR funcionassem sobre este tipo de redes sem fios como é o caso de aplicações que tiram proveito do *cloud computing* (Lin et al., 2013).

Wireless Local Area Networks (WLANs), como o próprio nome indica são redes implementadas num determinado local, tendo um alcance reduzido, são ideais para serem instaladas em locais como casas e edifícios de escritório, estas redes têm maior velocidade e menor latência que as redes WWANs, mas, como referido anteriormente, não fornecem tanta mobilidade, para atenuar esta desvantagem podem ser utilizados vários Pontos de Acesso (Access Points, AP) para cobrir uma área maior. A maioria dos dispositivos utilizados em sistemas de AR móvel suportam comunicação através deste tipo de rede (Papagiannakis et al., 2008).

As redes Wireless Personal Area Network (WPAN) foram desenhadas para interconectar dispositivos, como telemóveis, *smartphones* e computadores, centrados no mesmo espaço de trabalho. Portanto são redes de uso pessoal, com apenas alguns metros de alcance, têm uma boa velocidade e um baixo consumo energético. Uma rede deste género e amplamente utilizada é o Bluetooth, com algumas aplicações de AR móvel que utilizaram as características fornecidas por este tipo de redes (Huang et al., 2013).

A Tabela 3 apresenta uma comparação entre vários tipos de redes sem fios utilizados por sistemas de AR móvel, não existe um tipo de rede recomendado ou ideal, mas sim vários tipos de redes sem fios que mediante o contexto, arquitetura e objetivos que o sistema pretenda atingir são mais recomendadas que outras.

Tabela 3 Classificação dos vários tipos de redes quanto a cobertura e nível latência (adaptado de (Huang et al., 2013)).

Tipo	Tecnologia	Cobertura	Latência
WWAN	GSM	Aprox. 35km	Alta
	GPRS	Aprox. 10km	Alta
	UMTS	1km a 2km	Media
	LTE	5km a 100km ⁶	Baixa ⁶
WLAN	Wi-fi	Aprox. 90m	Baixa
WPAN	Bluetooth	Aprox 10m	Média

⁶ Com base em: [https://en.wikipedia.org/wiki/LTE_\(telecommunication\)](https://en.wikipedia.org/wiki/LTE_(telecommunication))

2.1.3.5 Limitações

Existem várias limitações associadas aos sistemas de AR móvel, estas fazem com que estes sistemas não tenham uma aceitação tão boa junto dos utilizadores como é o caso das limitações tecnológicas associadas à AR, questões de privacidade e segurança, a falta de aplicações de uso diário e a baixa aceitação social dos dispositivos de AR.

As unidades móveis de AR são baseadas em diferentes tecnologias como referidas anteriormente. Existem **problemas tecnológicos** como a alta latência em determinadas redes sem fios e limitações dos monitores dos dispositivos de visualização, estas limitações ficam por resolver pois, no caso dos monitores, cada abordagem tem os seus benefícios e limitações (Huang et al., 2013). Existem limitações nas técnicas de *tracking*, pois não existem nenhuma técnica capaz de se adaptar a um ambiente exterior sem qualquer tipo de preparação prévia (Rabbi & Ullah, 2013). Contudo algumas das limitações podem ser colmatadas com as junções de várias tecnologias, como é o caso da ação de *tracking*. A alimentação energética também é outra limitação pois as baterias dos dispositivos foram desenhadas para utilização de funções como captura de imagens e acesso à internet por pequenos intervalos de tempo, por sua vez, as aplicações de AR requerem o uso contínuo de captura de vídeo, recolha de coordenadas GPS, conexão à internet e uso de sensores inerciais. Com a utilização de todos estes componentes a energia da bateria pode reduzir drasticamente. Alguns dispositivos têm baixo poder de processamento, limitando o uso de determinadas técnicas de *tracking* (Zhou et al., 2008).

As questões relacionadas com a **privacidade e segurança** são importantes para AR móvel pois são fontes de invasão, como identificação pessoal, *tracking* da posição, e armazenamento de dados privados. Muitas aplicações de AR dependem de informações como a localização do utilizador para o fornecimento dos seus serviços.

Muitas das aplicações desenvolvidas são protótipos para fins experimentais ou demonstrativos faltando ainda a **existência de aplicações de uso frequente** que auxiliem os utilizadores no seu dia-a-dia. O surgimento de dispositivos como Microsoft HoloLens e Google Glasses podem fazer com que a AR se expanda e surja um grande interesse e investimento.

A capacidade de imersão pode trazer **indisposições** idênticas às sentidas em ambientes imersivos de VR, a este fenómeno chama-se *cybersickness*. Portanto, *cybersickness* é algo que pode ser considerado como uma espécie de enjoo, que ocorre tipicamente durante ou depois da imersão num ambiente virtual. Pode ocorrer como resultado de conflitos entre três sistemas sensoriais: o visual, vestibular e proprioceptivo. Nos sistemas em que são utilizados HMDs do tipo *video see-through* os olhos percebem que existe um movimento que não está sincronizado por alguns milissegundos, que é perceptível pelo sistema vestibular, enquanto o resto do corpo permanece imóvel (K.M. Stanney, R.S Kennedy, & K. Kingdon, 2015), tal fenómeno não é tão perceptível noutros tipos de dispositivos de visualização. *Cybersickness* pode ser causado por fatores externos, como os equipamentos utilizados (e. g., peso do HMD, proximidade do componente de visualização em relação aos olhos). De acordo com Kennedy et al. (Kennedy, Lane, Berbaum, & Lilienthal, 1993) os efeitos colaterais relacionados com *cybersickness* podem ser divididos em três classes de sintomas relacionados com os conflitos entre os sistemas sensoriais e equipamento de realidade virtual: sintomas visuais (cansaço visual, visão turba, dores de cabeça), desorientação (vertigens, desequilíbrio) e náuseas (vómitos, tonturas).

Muitos fatores como a intrusão dos dispositivos, privacidade e segurança são considerações que poderão afetar a **aceitação social** de sistemas de AR móvel. Para redução da intrusão dos sistemas dever-se-ia optar por minimizar o tamanho dos dispositivos de processamento e visualização e se possível combiná-los num só. A presença de câmaras em dispositivos como *smartglasses* pode levantar questões em torno da privacidade dos utilizadores, uma vez que, podem ser capturadas imagens sem que as pessoas em redor do utilizador deem por isso. Os sistemas de AR podem distrair, por momentos, os utilizadores do que se passa no mundo real podendo isto interferir na segurança das pessoas principalmente em utilizadores que vão a caminhar em ruas ou a conduzir veículos (Huang et al., 2013). Todas estas questões tornam-se um obstáculo para a aceitação social da AR móvel.

2.2 Sistemas realidade aumentada de móvel

Nas primeiras implementações, os sistemas de AR móvel eram limitados pela sua grande dimensão, baixo poder de processamento, autonomia e alto peso e custo. Porém ao longo do tempo, com a evolução da tecnologia, a maioria destes condicionamentos vieram a ser resolvidos. Nesta secção, será apresentada uma visão geral de vários projetos onde foram propostos vários sistemas de AR móvel.

2.2.1 Touring Machine

Os autores de Touring Machine, Feiner et al. (1997), criaram um protótipo capaz de combinar a sobreposição de gráficos tridimensionais de AR com a liberdade da computação móvel. A aplicação desenvolvida para ser executada no protótipo tinha como objetivos fornecer aos utilizadores informação sobre as suas proximidades, como que substituindo um guia durante uma visita. O sistema desenvolvido pesava cerca de 18 kg e era relativamente volumoso, como se pode visualizar na Figura 6.



Figura 6 Protótipo desenvolvido (S. Feiner et al., 1997)

Com o desenvolvimento deste sistema Feiner et al. (1997) propunham-se a atingir alguns objetivos como: a criação de uma aplicação capaz de apresentar informação sobre o ambiente envolvente ao utilizador, apoiar os utilizadores enquanto estes se movem num grande espaço exterior e combinar múltiplos ecrãs e técnicas de integração para aumentar a experiência do utilizador.

Como cenário de testes foi utilizado o campus da Universidade Columbia (Nova Iorque, Estados Unidos da América), apresentando-se informação ao utilizador acerca dos locais em volta dele. Enquanto se movimentava, o utilizador era “seguido” através da combinação de *diferencial GPS (DGPS)*, para tal foi utilizado o recetor de coordenadas GPS Trimble DSM

com correção diferencial fornecida pela Differential Corrections Inc. A informação era apresentada ao utilizador através de dois ecrãs, um HMD 3D Virtual I/O i-glasses do tipo *optical see-through* com uma resolução de 640x480 na escala de cinza que também era responsável pela orientação do utilizador através de magnetómetros e inclinómetros nele embutidos e um segundo ecrã de um *handheld computer* Mitsubishi Amity, com monitor de 640x480, 340 MB de disco, 16 MB de memória RAM, entrada PCMCIA e uma caneta de ecrã que o utilizador transporta numa das mãos com o qual se pode interagir através de uma caneta. A interação com o sistema era realizado através de um *trackpad* Cirque GlidePoint situado na traseira do *handheld computer* ou através da caneta do *handheld computer*.

O utilizador transporta na mochila o componente mais pesado do sistema, um portátil com processador Pentium de 133 MHz, 64 MB de memória, 2GB de disco, uma placa gráfica Omnicomp 3Demon com OpenGL (suporte a transformações 3D e *rendering*) e uma extensão de entradas adicionais. A unidade móvel comunicava através de uma placa WLAN com APs posicionados pelo campus. A alimentação do sistema era realizada através de um cinto de baterias recarregáveis, não sendo necessário realizar uma interrupção do sistema quando for necessário realizar a troca de bateria

A aplicação apresenta na sua parte superior uma barra de menus e sobrepõe informações textuais sobre os edifícios através do HMD *optical see-through*. As opções dos menus permitem obter informações tais como: a localização atual do utilizador, a lista dos vários edifícios e departamentos da universidade e informações adicionais sobre o campus. O utilizador pode a qualquer momento desativar o componente de realidade aumentada.

A qualidade dos ecrãs foi uma das limitações apontadas por Feiner et al. (1997) devido ao baixo brilho que o HMD possui, o que faz com que sejam necessários filtros de densidade natural. O brilho do ecrã do *handheld computer* também não é o melhor, tornando-se a leitura no exterior à luz solar um pouco difícil. A qualidade da metodologia de *tracking* também apresentou algumas limitações levando os autores a questionarem-se pela inserção de um giroscópio para o cálculo da orientação. Quanto ao *tracking* posicional, este era perdido quando o utilizador se encontrava perto de árvores e próximo a edifícios, o recetor de coordenadas GPS, necessitava de estar em linha de vista para se obter uma boa exatidão das coordenadas GPS mas utilizando-se uma aproximação complementar com base em câmaras poderia ter feito com que os problemas relativos ao *tracking* fossem colmatados.

2.2.2 Exporting MARS

Do protótipo criado por (S. Feiner et al., 1997) foi realizada uma adaptação ao mesmo para que a MARS fosse capaz de permitir que os seus utilizadores a pudessem utilizar tanto em ambientes *indoor* como *outdoor*. O utilizador num ambiente *outdoor* é seguido posicionalmente ao centímetro através de RTK GPS e a sua orientação através de sensores inerciais e magnetómetros, este pode visualizar num mapa da sua localização através do ecrã de um dispositivo *handheld*, num ambiente *indoor* o utilizador podia utilizar um sistema *desktop* ou através de um interface mais imersivo onde o utilizador pode criar objetos tridimensionais e ainda um sistema capaz de realizar navegação *indoor* com *headtrackers* e *handtrackers* de 6 graus de liberdade e 3 graus de liberdade para objetos para uma melhor sobreposição e manipulação de informação virtual (Höllerer, Feiner, Terauchi, Rashid, & Hallaway, 1999). Na Figura 7 é possível ver o sistema em utilização em contexto *outdoor*.

No que toca a *hardware* o sistema de Höllerer et al., (1999) utiliza para efeitos de visualização o HMD *optical see-throug* Sony LDI-100B com uma resolução de 800x600 tanto no componente de *indoor* como *outdoor*. Foi utilizado um *handheld computer* Mitsubishi AMiTY CP com um processador de 166 MHz correndo o sistema operativo Windows 95. A comunicação em rede era realizada através de WLAN. Para o *indoor tracking* foi utilizado um InterSense IS600 Mark II capaz de realizar *tracking* com 6DOF com a junção de ultrassons e sensores inerciais.



Figura 7 Utilizador com o protótipo MARS (Höllerer et al., 1999)

Existia a possibilidade dos utilizadores *indoor* guiarem utilizadores *outdoor* e fazerem anotações no ambiente da aplicação. De notar que a experiência do componente *indoor* estava limitada a uma mesa em que o utilizador visualiza um mapa tridimensional do cenário de estudo e poder-se-iam realizar ações sobre este.

2.2.3 BARS: Battlefield augmented reality system

Com o projeto Battlefield Augmented Reality System (BARS) (Julier, Baillot, Lanzagorta, Brown, & Rosenblum, 2000) pretendia-se desenvolver um sistema de AR móvel capaz de atuar em cenários de guerra em ambientes urbanos. Este sistema tinha o objetivo de ajudar a melhorar problemas como visibilidade limitada, falta de familiaridade com o ambiente, alertar possíveis ameaças de tiros, concentração de inimigos e identificação de inimigos e aliados/companheiros.

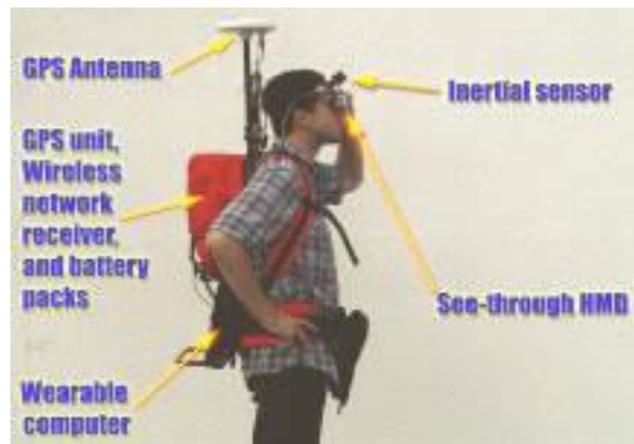


Figura 8 Protótipo do projeto BARS (Julier et al., 2000)

O protótipo desta MARS era constituído por um computador portátil Dell Inspiron 7000 com um processador Pentium II de 366MHz, um recetor de coordenadas GPS Ashtech GG24-Surveyor com precisão ao centímetro em áreas amplas através com uma base terrestre para calculo diferencial, o *tracking* da orientação do utilizador era realizado recorrendo-se a um InterSense IS3000 Pro, um *modem* radio da para transmissão de dados TCP/IP e a visualização era responsável por uns HMD Sony Glasstron *optical see-through*, já a alimentação do sistema era realizada recorrendo-se a baterias portáteis (Julier et al., 2000).

2.2.4 ARQuake

Piekarski e Thomas (Thomas et al., 2000) (Wayne Piekarski & Thomas, 2002) (Wayne Piekarski & Thomas, 2003), desenvolveram o sistema ARQuake. Este sistema permitia aos seus utilizadores jogar um jogo de realidade aumentada num ambiente *outdoor*, dando a liberdade de movimentação no mundo real e ao mesmo tempo, interagir com objetos e inimigos virtuais. ARQuake é baseado no jogo Quake (“Quake (video game),” 2015), do estilo *first person shooter*, sendo este alterado de forma a poder ser utilizado num ambiente de realidade aumentada, nomeadamente, foram realizadas alterações nas texturas dos inimigos onde se utilizaram texturas claras para que estes possam ser facilmente visíveis no mundo real, como

demonstra a Figura 9. O mapa de jogo tinha o tamanho do campus da Universidade de South Austrália com as dimensões de 350 por 450 metros onde existiam 30 edifícios, a textura utilizada nos edifícios teve como base cores escuras para que o utilizador tivesse noção da existência dos edifícios e, ao mesmo tempo, impossibilitar a visualização de inimigos que estariam atrás dos edifícios (Wayne Piekarski & Thomas, 2002).



Figura 9 Imagens do jogo ARQuake (Wayne Piekarski & Thomas, 2003)

Como o jogo Quake é originalmente jogado com recurso a um monitor, teclado e rato, para que os utilizadores pudessem usufruir da mesma experiência ao jogarem ARQuake, utilizou-se um HMD *optical see-through* para substituir o monitor, o teclado que era utilizado para movimentação e para outras ações como trocar de arma, foi substituído pela movimentação real do utilizador, o rato era utilizado para disparar e apontar, foi adaptada uma arma de plástico em que o gatilho da mesma realizava a interação com o sistema, apresentada na Figura 10, e para apontar foi utilizada a orientação da cabeça do utilizador.



Figura 10 Arma de plástico para realizar a ação de disparar sistema ARQuake (Wayne Piekarski & Thomas, 2003)

A unidade móvel de AR utilizada no sistema ARQuake pode ser visualizada na Figura 11, esta consistia numa mochila onde estavam montados todos os componentes da unidade móvel, presos a esta estava um HMD e a pistola de interação com sistema. Os componentes utilizados na unidade móvel foram computador portátil Dell Inspiron 8100 com um processador Pentium III e uma placa gráfica Nvidia GeForce 2 com sistema operativo Linux (RedHat 7.3) para realizar o processamento e alojamento do sistema, o HMD Virtual I/O I-Glasses com um preço de 579€ responsável pela visualização dos conteúdos, um InterSense IS-300 para obtenção da orientação com um preço de 2,313€, um GPS Trimble Ag132 com uma precisão de cerca de 50 centímetros com o custo de 4,626€ para obtenção do posicionamento do utilizador, e uma pistola de brincar que gera feedback para os sistemas sempre que o utilizador puxa o gatilho desta. O sistema possui ainda uma camara Firefly1394 com uma resolução de 640x480 com um preço de 579€. Na mochila também estão presentes hubs USB e FireWire para entradas adicionais e um conversor RS-232 para USB. O sistema tem uma autonomia de 2 horas com uma bateria de 12V, o seu peso total é de 16Kg e o seu custo total é superior a 37,000€ (Wayne Piekarski & Thomas, 2003).



Figura 11 MARS utilizada no projeto ARQuake (Wayne Piekarski & Thomas, 2003).

Os utilizadores que testaram o sistema gostaram do jogo e da forma como interagem com o mesmo. Alguns dos problemas encontrados por Piekarski e Thomas (2002) no seu sistema foram relativos ao posicionamento do utilizador, visto que este não era de todo bem estimado devido ao erro fornecido pelo recetor de coordenadas GPS, o alinhamento dos elementos virtuais com os reais também não era preciso, devido aos erros dos sensores (Wayne Piekarski & Thomas, 2002).

2.2.5 ARCHEOGUIDE

O projeto ARCHEOGUIDE (Augmented Reality based Cultural Heritage On-site GUIDE) (Vlahakis, Ioannidis, et al., 2002), (Dahne & Karigiannis, 2002), (Gleue & Dähne, 2001) pretendia a construção de um sistema que utilizasse AR para servir como guia turístico em espaços de património cultural. Com o principal objetivo de fornecer aos visitantes uma forma mais realista e informativa de aceder às informações e história do património, tendo como caso de estudo a cidade de Olímpia, na Grécia.

Na época de surgimento deste projeto, durante as visitas guiadas a alguns espaços de interesse cultural ou museus eram utilizadas cassetes ou Compact Discs (CDs) de áudio para fornecer informação adicional a uma visita guiada mas com o surgimento dos computadores portáteis, estes, tinham poder computacional suficiente para suportar informações de áudio vídeo e imagem (VAST '01, 2001). A possibilidade de inserção de conteúdos tridimensionais de património cultural numa visita em espaços em ruínas, fornecendo-se uma melhor experiência com mais imersividade e possibilidade de exploração dos espaços. As aplicações existentes até à data não permitiam uma interação do utilizador na exploração de locais de património histórico e cultural (Vlahakis, Karigiannis, Tsotros, Ioannidis, & Stricker, 2002).

O sistema ARCHEOGUIDE foi construído sobre uma arquitetura cliente-servidor, em que o servidor, presente na rede local, serve de repositório de informação e a conexão aos clientes (unidades móveis) é realizada através de ligação WLAN. O sistema permite a participação em passeios personalizados em locais de património cultural e fornece informação audiovisual como a reconstrução de edifícios, narração de áudio, informação de navegação e informação relacionada (Vlahakis, Karigiannis, et al., 2002).

O conteúdo utilizado no sistema era armazenado num servidor responsável pela transferência do mesmo para as MARS dependendo do perfil de utilizador, posição e orientação. A transferência dos dados entre as unidades móveis e o servidor é realizada através de uma rede WLAN instalada na periferia do local, para não criar danos físicos e minimizar o impacto visual que esta possa causar, os APs utilizados possuíam junto a eles painéis solares responsáveis pela recolha de energia solar para carregar uma bateria que mantém os APs ativos. (Vlahakis, Ioannidis, et al., 2002).

Foram criados diferentes protótipos que eram independentes da experiência de utilização dos seus utilizadores. Cada versão permite a inserção de informação personalizada para o perfil do utilizador e suportam *tracking* posicional. Foram então construídas três unidades móveis diferentes, uma mais imersiva constituída por um HMD e uma unidade de processamento transportada numa mochila, uma baseada num dispositivo Tablet-PC e outra que tinha como base um PDA (Vlahakis, Karigiannis, et al., 2002).

A MARS transportada na mochila tinha que ser carregada num espaço amplo e com uma área considerável permitindo que o utilizador se movesse livremente, baseando-se nessas premissas Gleue e Dähne (2001) pretendiam criar uma unidade móvel que fosse pequena, leve, e fácil de manipular, até para um utilizador com pouca experiência, portátil e que suportasse as condições adversas de um ambiente *outdoor* fazendo com que os custos de manutenção futuros fossem os menores possíveis. Estes definiram que um *frame rate* entre os 10 a 15 fps era o ideal a ser atingido pela unidade móvel quando executada a aplicação de AR e que esta teria de permitir uma boa conectividade a vários tipos de entradas de equipamentos como recetor de coordenadas GPS, câmara, HMD, placada de WLAN, entre outros (Gleue & Dähne, 2001).

Das pesquisas e comparação entre os vários computadores disponíveis no mercado à data de realização do projeto os autores optaram por utilizar um computador portátil, mesmo não tendo o peso e tamanho ideais, pois era um dispositivo que podia ser transportado facilmente numa mochila, como se pode visualizar na Figura 12. Foi então selecionado o computador portátil Dell Inspiron8000 com um processador Pentium III de 1GHz e uma NVIDIA GeForce2Go este computador por possuía um *slot* de bateria adicional, era suficientemente robusto para um ambiente outdoor e tinha suporte a vários tipos de ligações, não sendo necessária a expansão de portas ligação a dispositivos externos (Gleue & Dähne, 2001).



Figura 12 MARS do projeto ARCHEOGUIDE, vista frontal e traseira (Gleue & Dähne, 2001)

Para o componente de visualização foram considerados dois tipos de soluções: um pequeno LCD portátil ou um HMD. A vantagem principal do LCD era a sua flexibilidade e interatividade pelo facto de este poder ser *touch screen*. Por outro lado, Gleue e Dähne (2001) afirmaram que os HMD são pouco confortáveis de utilizar e levantam algumas questões de segurança especialmente quando são utilizados em solos com algum desnivelamento. Contudo Gleue e Dähne (2001) optaram pela solução HMD contestando que os LCDs sofrem de um baixo contraste para serem utilizados em ambientes *outdoor* com uma elevada luz solar, tornando-se quase impossível a visualização de conteúdos através (Gleue & Dähne, 2001).

O HMD utilizado era do tipo *video see-through*, foi dada a liberdade ao utilizador de retirar ou colocar o HMD quando achasse necessário, dando-se assim uma maior usabilidade à unidade móvel. Foram criadas duas unidades de visualização diferentes para serem utilizadas na MARS uma baseada num HMD Sony Glasstron LDI-D100BE e outra que utiliza um HMD similar a uns binóculos, n-Vision VB-30, ambos possuíam uma câmara e bateria (Gleue & Dähne, 2001).

As unidades de visualização possuíam câmaras distintas uma vez que os binóculos Nvision tinham uma camara integrada TerraTec TerraCAM com uma resolução de 320 por 240 pixéis funcionando a 15 fps. Já a unidade de visualização baseada nos Sony Glasstron utilizava uma webcam ADS PYRO 1394 funcionando a 30 fps, com uma resolução de 320 por 240 pixéis estando ligada ao computador portátil através de um adaptador IEEE1394 para PCMCIA (Gleue & Dähne, 2001).

Para obtenção da posição do utilizador foi utilizado um recetor diferencial de coordenadas GPS Garmin GPS 35-LVS e uma bussola eletrónica PNI TCM2-50, foram escolhidos estes tipos de sensores porque o seu erro é constante e a utilização de GPS diferencial oferece, segundo os autores, uma exatidão de cerca de meio metro. As ações de interação com a unidade móvel de realidade aumentada são realizadas através de um *gamepad* (Gleue & Dähne, 2001). Segundo Gleue e Dähne (2001) a escolha do HMD foi acertada mesmo sendo arriscada para utilizadores que estão a utilizar pela primeira vez, por outro lado a utilização do *gamepad* foi desapropriada não sendo a interação natural no uso da unidade móvel. Os binóculos provaram ser superiores ao HMD porque esse dispositivo possuía dois botões que podiam ser utilizados para interação com o sistema. O sistema teve uma performance entre 15 a 20 fps com uma autonomia de funcionamento de uma hora e trinta minutos. É ainda referido que uma melhor qualidade de imagem seria benéfica uma vez que a imagem capturada é utilizada como fundo da cena criada.

Apesar da construção da unidade móvel de realidade aumentar ter sido um sucesso, o seu peso ficou um pouco há quem das expectativas, como se pode visualizar na Tabela 4 o peso do componente principal é de mais de 6kg e em conjunto com as unidades de visualização são o seu peso pode ir desde os 6,8kg até aos 7,29kg o que é um valor alto para a maioria dos utilizadores poder suportar, especialmente estando este distribuído na cabeça e nas costas.

Tabela 4 Peso da MARS desenvolvida para o ARCHEOGUIDE (adaptado de (Gleue & Dähne, 2001))

Componente Principal		Unidade de Visualização I		Unidade de Visualização II	
Componente	Peso (g)	Componente	Peso (g)	Componente	Peso (g)
Computador (sem bateria)	3500	HMD (incl. comando)	440	HMD (incl. comando e camara)	580
Interface WLAN	70	Camara (incl. adaptador PCMCIA)	200	Camara (incluída no HMD)	-
Recetor DGPS	220	Bussola (incl. Acessório do HMD)	100	Bateria	90
Bateria	840	Bateria	420		
Mochila (incl. cabos, adaptadores, etc.)	1500				
Peso Total	6,130	Peso Total	1,160	Peso Total	670

Como referido anteriormente, foi ainda criada uma solução baseada num Tablet-PC, apresentada na Figura 13, esta era mais compacta e leve, para tal, recorreu-se ao dispositivo Fujitsu Stylistic 3500R, equipado com um processador Celeron de 500MHz, 256 MB SDRAM, 15GB de disco rígido e um monitor de 10.4 polegadas. No dispositivo estava integrado um recetor de coordenadas GPS Teletype e uma bússola digital Precision Navigation TCM2, a interação com este dispositivo é realizada através de uma caneta. Segundo os autores, esta solução revelou-se mais compacta e fácil de transportar e tinha como principal objetivo a substituição da utilização de livros em visitas guiadas. A sua GUI desta MARS era baseada em páginas *web* presentes no navegador Internet Explorer, onde se podia navegar por páginas com visualizações panorâmicas de 360° de uma reconstituição virtual baseada em modelos tridimensionais e animações, tudo isto dependendo da orientação e posição do utilizador (Vlahakis, Karigiannis, et al., 2002).



Figura 13 Utilizador a usufruir da experiência Pen-Tablet (Vlahakis, Karigiannis, et al., 2002)

Uma terceira MARS baseada num PDA, apresentada na Figura 14, esta foi a solução mais leve de todas as desenvolvidas no contexto deste projeto, para tal, foi utilizado um Compaq iPAQ PDA com 64 MB de RAM e um ecrã sensível ao toque, equipado com duas entradas PCMCIA onde estão ligados um recetor de coordenadas GPS Teletype e uma placa de comunicação em rede WLAN. Esta MARS podia ser utilizada numa mão e a interação com a mesma é realizada através de uma caneta. Nela corria uma aplicação onde podiam ser visualizadas imagens dos modelos reconstruídos dependendo da posição do utilizador e do seu perfil, existia ainda a possibilidade de ouvir narrações áudio, ler informações de cariz histórico em várias linguagens, visualizar reconstituições panorâmicas do espaço de estudo, e ainda ter informação em forma de um mapa tridimensional com modelos dos principais monumentos (Vlahakis, Karigiannis, et al., 2002).

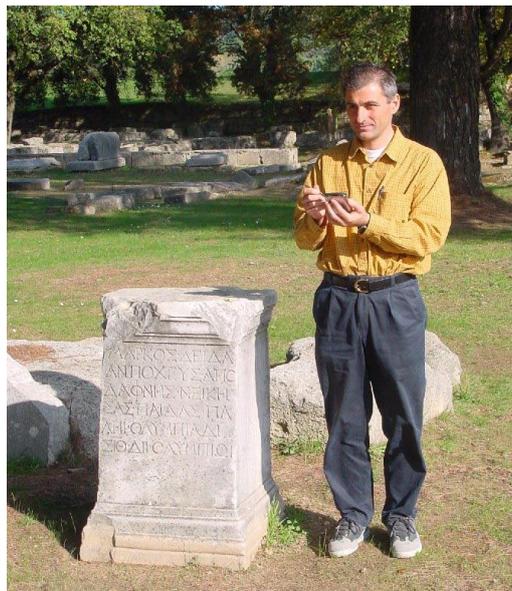


Figura 14 Utilizador com a versão PDA (Vlahakis, Karigiannis, et al., 2002)

Em relação às limitações encontradas nos sistemas é referido que a precisão do GPS e da orientação é suficientemente precisa para navegação e controlo de informação audiovisual. É necessária uma melhor performance computacional para o cálculo de cenas aumentadas. Os autores referem que por vezes, ocorriam desalinhamentos entre os modelos tridimensionais e a realidade sendo que a mais pequena perturbação poderia resultar numa má colocação das imagens aumentadas criando efeitos irrealistas dando a sensação que os modelos não estavam junto ao solo. Para colmatar esta limitação foi utilizada uma técnica de *tracking* que escalava rodava e transformava os modelos para que estes se adaptassem à realidade, contudo esta técnica tinha um campo limitado de ação, estando o utilizador restrito a um raio de 2 metros para visualização das cenas de AR num total de 10 locais diferentes (Vlahakis, Karigiannis, et al., 2002).

Os utilizadores que testaram o sistema ARCHEOGUIDE gostaram deste (entre eles visitantes, especialistas em arqueologia e especialistas em informática), o local de testes do protótipo, Olympia na Grécia provando ser um bom cenário. Alguns utilizadores preferiram utilizar o Tablet-PC por este ser mais compacto e leve. Os utilizadores ficaram menos confortáveis na utilização da unidade móvel com os óculos de AR, contudo, concordaram que esta solução era a que apresentava uma melhor representação do conteúdo reconstruído, mas desejavam que esta fosse mais compacta e leve. Mulheres e crianças tiveram mais interesse em utilizar o PDA, referindo que este era mais fácil de ser transportado (Vlahakis, Karigiannis, et al., 2002).

2.2.6 SignPost

Por causa da dificuldade de navegação existente dentro de alguns edifícios, pelo desconhecimento ou pela falta de indicações nos corredores, surgiu o projeto SIGNPOST (Michael Kalkusch et al., 2002) que tinha como objetivo colmatar esta falha. Foi realizado um caso de estudo na Universidade de Tecnologia de Viena que consistiu na criação de um sistema de navegação *indoor* baseado em AR. O sistema desenvolvido por Kalkusch et al. (2002) tem capacidade de guiar o utilizador dentro de um edifício apresentando-lhe as direções que deve seguir e um mapa do piso em que se encontra baseando-se para isso em informação visual recolhida do contexto onde está inserido o utilizador. O sistema SIGNPOST utiliza um conjunto de marcas previamente treinadas para serem reconhecidas (Michael Kalkusch et al., 2002).

A unidade móvel desenvolvida para suportar o sistema de (Michael Kalkusch et al., 2002) consistia num computador portátil com uma capacidade de processamento de 1GHz e uma placa gráfica Nvidia GeForce2Go, o utilizador transportava consigo um capacete onde estava presente a unidade de visualização constituída por um HMD Glasstron *optical see-through*, foi ainda utilizada uma camera ligada por uma entrada FireWire para efeitos de *tracking* através das imagens capturadas, um InterSense InterTrax2 para obtenção da orientação do utilizador e no pulso do utilizador estava montado um *touchpad* para interação com a aplicação, esta MARS pode ser visualizada em utilização na Figura 15.

O método de *tracking* utilizado na aplicação tinha como base o reconhecimento de marcas fiduciais quadradas com 20 cm de lado, estas estavam posicionadas a uma distância média de 2,5 metros entre o utilizador e a marca. As marcas foram colocadas a cada 2 metros num total de 25 divisões e corredores diferentes, esta dimensão de cobertura requeria centenas de marcas diferentes para o posicionamento correto do utilizador, para tal Kalkusch et al. (2002) decidiram reutilizar algumas das marcas criando 25 marcas únicas e 40 marcas reutilizáveis uma vez que com um maior número de marcas a precisão de reconhecimento diminui, aumentando também o número de falsos positivos e capacidade de processamento consequentemente existiria uma diminuição da performance. A reutilização de marcas é baseada na localização do utilizador, à partida se este se encontra numa determinada área do edifício podem haver várias marcas a serem reutilizadas noutras áreas desde que haja um conhecimento prévio das marcas anteriormente reconhecidas.



Figura 15 Utilizador com a MARS do SignPost (Michael Kalkusch et al., 2002).

2.2.7 Collaborative Augmented Reality for Outdoor Navigation and Information Browsing

Reitmayr e Schmalstieg (2004) apresentam uma demonstração da utilização de AR para navegação colaborativa e obtenção de informação num ambiente urbano. Como objetivo principal Reitmayr e Schmalstieg (2004) pretendiam demonstrar o potencial da utilização da AR como um *user interface* para a realização dessas tarefas. Baseando o seu protótipo num cenário de uma visita turística (Reitmayr & Schmalstieg, 2004).

O utilizador alvo deste projeto era um típico turista, que normalmente, é alguém com pouco ou nenhum conhecimento sobre o ambiente em que se encontra. Contudo, estes têm um grande interesse em explorar a zona envolvente para visitar diferentes locais. As visitas guiadas surgem também como uma prática comum para turistas, onde uma pessoa guia um grupo para apresentar informações de interesse histórico e cultural. Reitmayr e Schmalstieg (2004) escolheram como cenário do protótipo desenvolvido o centro histórico da cidade de Viena, na Áustria. A aplicação desenvolvida fornecia auxílio à navegação do utilizador, podendo guia-lo para um destino selecionado, apresentar informações e dar a possibilidade de colaboração com outros utilizadores (Reitmayr & Schmalstieg, 2004).

A unidade móvel desenvolvida era constituída por um componente de processamento montado numa mochila, sendo então constituído por um computador portátil com 2GHz de processamento e uma placa gráfica dedicada Nvidia Quadro 4Go, um adaptador WLAN para permitir a comunicação entre várias unidades móveis, para obtenção da posição do utilizador foi utilizado um recetor de coordenadas GPS Trimble Pathfinder Pocket com uma precisão de 3 metros (Chamberlain, 2002), o segundo componente deste sistema era formado por um capacete com um sensor de orientação InterSense InertiaCube2 e uma câmara PointGrey Firefly utilizada para realização de *tracking* fiducial, preso ao capacete estavam também um HMD Sony Glasstron do tipo *optical see-through*, a interação com o sistema é realizada através de um *touchpad* que pode ser utilizado preso a um cinto ou na mão do utilizador, na Figura 16 pode ver-se a unidade móvel em utilização.



Figura 16 Utilizador navegando numa zona histórica da Cidade de Vienna (Reitmayr & Schmalstieg, 2004)

O funcionamento do sistema de Reitmayr e Schmalstieg (2004) é baseado na apresentação de informação ao utilizador através do HMD, essa informação tanto pode ser apresentada como objetos tridimensionais sobre o mundo real ou num formado de texto e imagens. O *interface* gráfico é apresentado no HMD onde se podem encontrar botões, listas de seleção e textos informativos. A interação com o sistema é realizada através de um *touchpad* que está montado no sistema da unidade móvel, com este *touchpad* podem se selecionar vários modos de utilização da aplicação como por exemplo: navegação, visualização de informação, e anotação (cada modo tem opções distintas dentro deles). O HMD apresenta também informação relativa à localização atual do utilizador, distância até ao destino pretendido, e a orientação do utilizador (Reitmayr & Schmalstieg, 2004).

O protótipo foi apresentado numa sessão de demonstração informal a colegas dos autores. Após uma fase inicial de habituação ao sistema os utilizadores acharam o modo de funcionamento do sistema simples, embora, achassem que os controlos de interação com o protótipo precisassem de ser modificados uma vez que não são adaptados para as tarefas a que o sistema se designa realizar. Reitmayr e Schmalstieg (2004) afirmam que a posição obtida via GPS não é de todo satisfatória visto que existe alguma falta de precisão que faz com que a sobreposição de conteúdos gráficos não esteja no local exato, e havendo por vezes alguns “saltos” do posicionamento dos objetos no mundo real. Uma das limitações para este insucesso com a receção de coordenadas GPS deveu-se ao facto de existirem edifícios altos que impossibilita a comunicação com uma maior número de satélites e reduz a exatidão dos resultados em ruas estreitas e junto de edifícios altos. Contudo, Reitmayr e Schmalstieg (2004) referem que esta tecnologia era a melhor a ser utilizada e, ao mesmo tempo, fornecia alguma exatidão e robustez. Para contornar estas limitações relativas ao *tracking* posicional os autores planeiam utilizar um GPS diferencial e correção RTCM via GPRS. Outra boa implementação seria o uso da velocidade e direção para auto calibrar o *tracker* de orientação.

2.2.8 Human Pacman

Cheok et al., (2004) criaram Human Pacman um sistema em que era pretendido jogar o famoso jogo de *arcade* Pac-Man (“Pac-Man,” 2015) com recurso a AR. Com a criação deste sistema, os autores pretendiam dinamizar interações sociais através da colaboração e competição ao jogar num ambiente *outdoor* em que os jogadores competissem entre si e tivessem a possibilidade de serem guiados por outros jogadores que através de VR os conseguisse auxiliar. O jogo era baseado na fisionomia do mundo real, podendo o utilizador se mover livremente no mundo real em espaços interiores ou exteriores.

Quanto à sua arquitetura, Human Pacman esta assenta sobre uma arquitetura cliente-servidor, em que a comunicação é essencialmente realizada via WLAN, com quatro entidades diferentes, um servidor central, os clientes em *wereables computers*, *handheld computers* e objetos com possibilidade de comunicação via Bluetooth. O servidor recolhe a informação do utilizador (posição e orientação) e gere a comunicação entre os dispositivos Bluetooth e os computadores (Cheok et al., 2004).

A MARS desenvolvida por Cheok et al. (2004) é constituída por um computador portátil Desknote A980 com um processador de 3GHz e uma placa gráfica NVidia GeForce4, foi ainda utilizada uma camara PointGrey FireFly, o HMD utilizado foi o dispositivo Cy-Visor do tipo *video see-through*, a orientação do utilizador é recolhida através do InterciaCube2. É utilizado um adaptador USB para possibilitação de comunicação Bluetooth. Foi ainda desenvolvido um sensor de toque através de sensores capacitivos QT160, sendo este utilizado para se sentir o toque na por parte de um jogador inimigo (Cheok et al., 2003).

No jogo, os jogadores eram divididos em duas equipas, nomeadamente, a equipa *pacman* e a equipa *ghost*, a cada jogador estava associado um ajudante, ligado remotamente via WLAN. Os utilizadores de ambas as equipas, moviam-se no mundo real carregando as suas unidades móveis e visualizando o conteúdo de AR através do HMD, a Figura 17 apresenta imagens do modo de AR e VR do sistema Human Pacman. Por outro lado, os ajudantes de cada equipa visualizam o jogo num modo de VR uma vez que estes estavam em frente a um computador normal. A posição e orientação de cada utilizador era enviada periodicamente para o servidor e este enviava-a para todos os utilizadores dando conhecimento da localização de cada jogador (Cheok et al., 2003).



Figura 17 Visualização por parte do jogador com unidade móvel e do ajudante (Realidade Aumentada e Realidade Virtual) (Cheek et al., 2004)

Os jogadores *pacmen* podiam mover-se no mapa e apanhar as bolachas virtuais, que visualizavam através do HMD, como no jogo original, tendo que encontrar e apanhar bolachas especiais virtuais que são representadas no mundo real por caixas equipadas com Bluetooth. Os jogadores da equipa *ghost* podem “devorar” o *pacmen* através do toque no sensor captativo presente no ombro dos utilizadores (Figura 18), o mesmo se pode suceder ao contrário se o utilizador *pacman* devorar uma bolacha especial podendo este devorar os utilizadores inimigos. Os ajudantes tinham a função de agir como a inteligência do utilizador que estão a auxiliar, aconselhando-o e coordenando-o até este atingir o seu objetivo. O ajudante conseguia visualizar todos os utilizadores e as bolachas especiais escondidas, com isto, os autores promoveram colaboração e interação entre os vários jogadores.



Figura 18 Utilizadores a jogar Human Pacman (Cheek et al., 2003)

Foram realizados testes com 23 sujeitos com idades compreendidas entre os 21 e os 33 anos de idade sendo 8 do sexo feminino e 13 do sexo masculino, a maioria dos sujeitos já tinha um nível intermédio ou avançado na utilização de computadores. Os sujeitos eram convidados a jogar o jogo Pacman clássico, em seguida, visualizavam um vídeo sobre o Human Pacman e como o sistema funcionava para uma melhor entendimento deste, posteriormente, os sujeitos utilizavam o sistema em ambas as equipas. Cheok et al. (2003) referem que os utilizadores ficaram satisfeitos com a utilização do sistema, preferindo o Human Pacman ao jogo Pacman, pela sua imersividade e a parte física no jogo, sendo, segundo eles, uma boa forma de praticar exercício. Contudo, os utilizadores referiram que a unidade móvel de realidade aumentada é volumosa e pesada sendo que o HMD também é incómodo de utilizar, mas a maioria indicou que utilizaria o sistema novamente.

Cheok et al. (2004) referem que o volume e peso da unidade móvel e o HMD restringe o utilizador nos seus movimentos devido à sua taxa de atualização não ser a melhor e que deveria de existir uma maior precisão do sistema de posicionamento. Contudo, os autores referem que o seu sistema pode ser aplicado noutros contextos como é o caso do treino educacional onde o utilizador aprende através de experiências.

2.2.9 An augmented reality museum guide

Miyashita et al. (2008) recorreram à AR para desenvolver a aplicação *AR-museum guide* este sistema combinava técnicas de *tracking* sem marcas para a conveniente apresentação do conteúdo de AR. Foram construídos dois sistemas de AR um fixo e um móvel. Para o sistema fixo foi utilizada uma camara combinada com um ecrã LCD ligado um *desktop* com um processador dual-core e uma placa gráfica Nvidia Quattro FX 4500, esta estação estava situada junto ao expositor da exposição. Para a unidade móvel, apresentada na Figura 19, foi utilizado o *tablet* PC Fujitsu BIBLO LOOX-P com o peso de 0,96kg, com um ecrã de 8.9 polegadas e um processador com dual-core a 1.2GHz (Miyashita et al., 2008).



Figura 19 Sistema móvel criado por Miyashita et al. (2008).

O sistema móvel funcionava a 14 fps numa resolução de 640 por 480 pixéis podendo o *tracking* ser feito a 3 metros de distância da estação de exposição. Enquanto a estação fixa tinha um desempenho de 30 fps numa resolução de 780 por 576 pixéis com o *tracking* a inicializar assim que a camara obtenha imagens.

2.2.10 AR street view

Tokusho e Feiner (2009) criaram a aplicação “AR street view” que permitia visualizar conteúdos referentes a informação geográfica ao redor do utilizador como por exemplo ruas, moradas fachadas de edifícios, instalações públicas e governamentais bem como conteúdos informativos e virtuais, a Figura 20 mostra a aplicação em funcionamento.



Figura 20 Aplicação "AR street view" em funcionamento (Tokusho & Feiner, 2009)

O sistema sobre o qual corria a aplicação “AR street view” era constituído pelo *smartphone* Google Android Dev Phone 1, um servidor contendo uma base de dados de ruas, um sensor inercial externo e um UMPC com um adaptador de Bluetooth, apresentado na Figura 21. O *smartphone* utilizado possuía uma câmara, um adaptador Bluetooth, um recetor de coordenadas GPS, sensor de orientação e um adaptador de rede WLAN ou celular, é ainda utilizado um sensor de orientação InerciaCube3 como sensor adicional e os dados gerados por este são transmitidos do UMPC para o *smartphone* via Bluetooth (Tokusho & Feiner, 2009).



Figura 21 Componentes do sistema móvel de Tokusho e Feiner (Tokusho & Feiner, 2009)

Alguns dos problemas identificados por Tokusho e Feiner (2009) estavam relacionados com a obtenção da posição e orientação do utilizador, dado que, o *smartphone* utilizado apenas possuía ligação via GPS assistido (utilização das, o que por vezes tinha uma precisão muito baixa, na ordem dos 40 metros, para colmatar essa falha foi utilizado um *tracker* posicional RTK GNSS e um módulo de *dead-reckoning* com acelerómetros e giroscópios para cálculo de passos e que o utilizador deu desde a sua última localização bem como a direção desses passos. Já com a obtenção da orientação não existia uma grande precisão no sensor de orientação embutido no *smartphone*, para reparar essa imprecisão foi utilizado um sensor inercial externo, ligado ao UMPC que enviava os dados relativos à orientação via Bluetooth para o *smartphone* (Tokusho & Feiner, 2009).

O pequeno campo de visão que se obtinha da câmara do *smartphone* também foi outro problema uma vez que está limitado ao tamanho do ecrã o que é bastante mais reduzido que o campo de visão de um único olho. Pelo facto da câmara não estar no centro do dispositivo obtinha-se uma pose um pouco desalinhada com a realidade (Tokusho & Feiner, 2009).

2.2.11 An augmented reality presentation system for remote cultural heritage sites

Para apresentação de património cultural, os museus de arqueologia apenas apostavam em apresentar artefactos de locais remotos, não havendo ligação entre o local de exposição atual com o local de encontro desses artefactos. Zollner et al. (2009) apresentaram uma tentativa de levar esses locais para dentro dos museus através do uso de AR, apresentando objetos tridimensionais sobre o mapa dos locais de origem dos artefactos utilizando dispositivos de visualização *video see-through*.

O sistema desenvolvido por Zollner et al. (2009) consistia em duas abordagens distintas, uma parte estática constituída por imagens de grande escala nas paredes da exibição para representar o património cultural ou local de escavação. A segunda parte da constituição do sistema trata-se da parte dinâmica, esta era constituída por um ecrã que podia ser rodado para a direita ou esquerda e encontrava-se montado num pilar, o dispositivo utilizado foi um Apple iMac de 24 polegadas com uma câmara na sua parte traseira, como apresentado na Figura 22 (A). À medida que o utilizador roda o ecrã são sobrepostas informações relativas a pontos de interesse sobre as imagens estáticas. Uma segunda abordagem, com maior mobilidade que a anterior, consiste na utilização de um UMPC, Figura 22 (B), em que podem ser visualizados os vários pontos de interesse das imagens expostas para ser apresentada informação em formato de vídeo, imagem ou texto.



Figura 22 Sistemas de para a apresentação de informação arqueológica em museus: (A) sistema fixo num pilar rotativo; (B) sistema móvel baseado num UMPC.

2.2.12 MapLens

MapLens (Morrison et al., 2009) (Morrison et al., 2011) era uma aplicação para telemóveis que em que o seu objetivo era o de fornecer um mapa de AR, a Figura 23 apresenta a aplicação em utilização. A aplicação foi construída para o sistema operativo Symbian S60 e, para ser executada era necessário um telemóvel Nokia com este sistema operativo, para além de, uma câmara e recetor de coordenadas GPS, o monitor do telemóvel era utilizado para aumentar um mapa de papel com informação geográfica. Através da câmara traseira deste do telemóvel, após se apontar esta para o mapa, surgiam pontos de interesse geográficos sobre este, podendo-se obter as coordenadas GPS do local e informações sobre estes, o *tracking* consistia numa técnica *markerless* e a performance da aplicação variava entre os 5 a 12 fps num telemóvel Nokia N95. As coordenadas GPS são usadas para procurar numa base de dados *online* conteúdos próximos da localização do utilizador, tais como fotos, que eram sobrepostas no mapa de papel no local correto. Este tipo de mapas provou ser útil e mais eficiente que os mapas digitais podendo ser utilizado em tarefas colaborativas como o *upload* de fotos com *tag* GPS para a base de dados (Morrison et al., 2009).

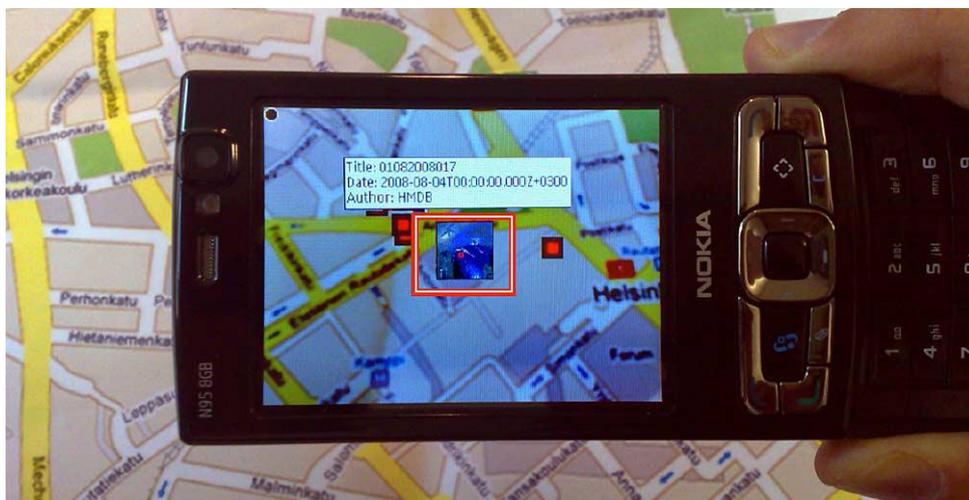


Figura 23 Aplicação MapLens em execução num telemóvel (Morrison et al., 2009).

2.2.13 Virtual Lego

Virtual LEGO (Henrysson et al., 2005) trata-se de uma aplicação de AR desenvolvida para telemóveis, esta foca-se na montagem de conteúdos tridimensionais virtuais através da movimentação da câmara e interação com o teclado do telemóvel. Para efeitos de *tracking* é utilizado um marcador fiducial para indicar o correto posicionamento dos conteúdos virtuais. A aplicação foi desenvolvida para o sistema operativo Symbian, o dispositivo utilizado para correr a aplicação foi um telemóvel Nokia 6630 com um processador de 220Mhz e uma câmara de 1.3 Megapixéis, o ecrã do dispositivo tinha uma resolução de 178 por 208 pixéis e resolução do vídeo de 160 por 120 pixéis e corria a 8 fps. A aplicação focava-se na montagem de legos com uma interação de seis graus de liberdade (6DOF) conseguida através da câmara do telemóvel e do teclado do mesmo o que provou ser uma boa forma de interação com o conteúdo virtual.



Figura 24 Aplicação Virtual Lego em funcionamento (Henrysson et al., 2005).

2.2.14 Arbela Layers Uncovererd

Mohammed-Amin et al. (2012), criaram uma aplicação denominada Arbela Layers Uncovererd (ALU), tratando-se de um projeto de AR móvel com o objetivo de guiar visitantes pelo sítio histórico de Arbela situado no Iraque, ajudando-os a descobrir os seus 7000 anos de existência cobertos de história. Mohammed-Amin et al. (2012) referem que para a escolha da plataforma sobre o qual iriam desenvolver a sua aplicação consideraram vários fatores entre eles: confiabilidade, mobilidade, ergonomia e custo. Sendo, por eles, requisitos cumpridos por *smartphones* e *tablets*, estes foram escolhidos pelos autores como hospedeiros da sua aplicação (tanto no sistema operativo Android como IOS) pois permitem grande mobilidade e possuem uma serie de sensores já embutidos, tornando-os desejáveis para aplicações de AR. Em termos de ergonomia, estes dispositivos são pequenos tornando-se fáceis de serem transportados, mas alguns utilizadores podem achar os ecrãs de *smartphones* demasiado pequenos. Já os *tablets* são dispositivos de maiores dimensões mas uma interação mais aprimorada. O preço destes dispositivos são aceitáveis e estão disponíveis para aquisição em vários locais por todo o mundo (Mohammed-Amin et al., 2012).

A aplicação fornecia ao utilizador vários menus, como apresentado na Figura 25 (A), entre eles história, património e base de dados. Ao ser selecionado o menu “história”, era apresentado ao utilizador informação sobre Arbela. No menu “património” era apresentada informação geolocalizada tanto num formato de mapa como num formato panorâmico como se pode visualizar na Figura 25 (B) pode-se visualizar um modelo 3D de uma reconstituição do local. O modo base de dados permite ao utilizador aceder a vários *websites* e arquivos com informação de Arbela.



Figura 25 (A) Menu principal da aplicação ALU; (B) Modo de realidade aumentada da aplicação ALU (Mohammed-Amin et al., 2012)

2.2.15 VisitAR

Para Lee et al. (2008) a AR é uma das tecnologias que faz parte das cidades ubíquas, uma vez que esta permite que os utilizadores desta tecnologia aumentem os seus conhecimentos e capacidades enquanto presentes nessas cidades. Neste contexto, direcionando-se para o turismo, Gattullo Michele et al. (2013) criaram VisitAR, uma aplicação que permite fornecer aos seus utilizadores uma experiência mais imersiva de um passeio turístico, fornecendo informação turística de uma forma diferente. A aplicação foi desenvolvida para dispositivos móveis como *smartphones* e *tablets*. Chegando a uma cidade o utilizador pode planear a sua rota turística através da aplicação VisitAR, chegando a pontos de interesse histórico e cultural acrescido era apresentada informação em formato de vídeo e imagem e informações complementares (Gattullo Michele et al., 2013).

O que motivou os autores a desenvolverem esta aplicação em dispositivos móveis foi o facto de a maioria dos turistas possuírem este tipo de dispositivo consigo. A aplicação foi desenvolvida recorrendo-se ao *browser* de AR Junaio (Metaio GmbH, 2015a). O caso de estudo de aplicação foi a cidade de Oulu na Finlândia por possuir uma boa cobertura de WIFI gratuito.

Para que a aplicação funcionasse na sua plenitude apenas era necessária a utilização de um *smartphone*, ligação à internet e a aplicação Junaio instalada no dispositivo. A aplicação VisitAR tinha dois modos de funcionamento distintos, um através de *tracking* fiducial e outro através da utilização dos vários sensores do dispositivo. Utilizou-se *tracking* fiducial para o enriquecimento da informação de um mapa da cidade, no canto do mapa estava presente um marcador que, quando apontada a câmara do *smartphone* sobre o mesmo, surgiam conteúdos textuais e tridimensionais referentes a locais de interesse a visitar. O outro modo utilizava a posição do utilizador através de coordenadas GPS e, em conjunto com os sensores inerciais e câmara do dispositivo, o utilizador conseguia visualizar no ecrã vários pontos de interesse como paragens de autocarros, museus, igrejas, monumentos, hotéis, restaurantes e lojas.

2.2.16 Síntese

Analisando-se a Tabela 5, onde estão dispostos os vários projetos estudados, por ordem cronológica, é possível se verificar que ao longo do tempo passou-se da utilização de unidades móveis que tinham de ser transportados, pelos utilizadores às suas costas, para dispositivos mais compactos e mais ergonómicos. Contudo estes dispositivos, apesar de possuírem a vantagem de serem leves e compactos, não possuem tanto poder de processamento como os dispositivos de maior porte.

Pode-se constatar que os sensores mais utilizados foram os recetores de coordenadas GPS, para obtenção da posição do utilizador, e sensores inerciais, para a obtenção da orientação do utilizador. Estes sensores encontram-se disponíveis na maioria dos dispositivos móveis disponíveis hoje-em-dia no mercado. Para dispositivos móveis que não incluam estes sensores, estes encontram-se à venda em separado e por um preço acessível.

Nos projetos em que se utilizaram computadores portáteis montados numa mochila, para a visualização de conteúdos foram utilizados HMD tanto do tipo *video see-through* e *optical see-through*. Nos projetos mais antigos não foram utilizadas câmaras para efetuar o *tracking*, contudo os sistemas que funcionavam num contexto *indoor*, recorriam ao uso de técnicas de *tracking* baseadas em imagem, uma vez que, o GPS não funciona corretamente dentro de edifícios. Dos 15 sistemas analisados apenas 4 não recorriam a comunicação por redes sem fios. Os sistemas que comunicavam sobre redes sem fios preferencialmente recorriam a redes WLAN devido à baixa latência e ao contexto de cada sistema. Em relação aos dispositivos de interação foram utilizados vários. Nos sistemas com computadores portáteis, por exemplo, foi mais frequente a utilização de *trackpads* e *touchpads*, contudo também foram utilizados *gamepads*, teclado e rato. Nos sistemas baseados nos telemóveis a interação procedia-se através do teclado deste dispositivo. Nos sistemas baseados em *smartphones* e *tablets* a interação era realizada através do toque no ecrã dos dispositivos.

Tabela 5 Tabela de síntese dos vários sistemas abordados.

Projeto	Processamento	Indoor/Outdoor	Rede	Sensores	Câmara	Visualização	Interação
Touring Machine (S. Feiner et al., 1997)	Computador portátil e <i>handheld computer</i>	<i>Outdoor</i>	WLAN	GPS, inercial	Não	HMD <i>optical see-through</i> e monitor do <i>handheld computer</i>	<i>Trackpad</i> e caneta
Exploring MARS (Höllner et al., 1999)	Computador portátil e <i>handheld computer</i>	<i>Outdoor e Indoor</i>	WLAN	GPS RTK, inercial, ultrasons	Não	HMD <i>optical see-through</i> e monitor do <i>handheld computer</i>	<i>Trackpad</i> e caneta
BARS (Julier et al., 2000)	Computador portátil	Outdoor e indoor	WLAN	GPS, inercial	Não	HMD <i>optical see-through</i>	Nenhuma
ARQuake (Wayne Piekarski & Thomas, 2002)	Computador portátil	Outdoor	Não utilizado	GPS, inercial	Não	HMD <i>optical see-through</i>	Arma de plástico modificada
ARCHEOGUIDE (Gleue & Dähne, 2001)	Computador portátil	Outdoor	WLAN	GPS, Inercial	Sim	HMD <i>video see-through</i>	<i>Gamepad</i>
SignPost (M. Kalkusch et al., 2002)	Computador portátil	Indoor	Não utilizado	Inercial	Sim	HMD <i>optical see-through</i>	<i>Touchpad</i>

Projeto	Processamento	<i>Indoor/Outdoor</i>	Rede	Sensores	Câmara	Visualização	Interação
Collaborative AR System (Reitmayr & Schmalstieg, 2004)	Computador portátil	Outdoor	WLAN	GPS, Inercial	Sim	HMD <i>optical see-through</i>	<i>Touchpad</i>
Human Pacman (Cheok et al., 2004)	Computador portátil	Outdoor	WLAN, Bluetooth	GPS, Inercial	Sim	HMD <i>video see-through</i>	Pequeno teclado e rato
An AR museum guide (Miyashita et al., 2008)	Tablet-PC	Indoor	Não utilizado	Não utilizado	Sim	Monitor do tablet-pc	Não necessária
AR Street View (Tokusho & Feiner, 2009)	UMPC e <i>Smartphone</i>	Outdoor	Bluetooth	GPS, Inercial	Sim	Monitor do <i>smartphone</i>	Monitor do <i>smartphone</i>
An AR presentation system for remote cultural heritage sites (Zollner et al., 2009)	UMPC	Indoor	Não utilizado	Não utilizado	Sim	Monitor do UMPC	Não necessária
MapLens (Morrison et al., 2009)	Telemóvel	Indoor, Outdoor	WWAN	GPS	Sim	Monitor do telemóvel	Teclado

Projeto	Processamento	Indoor/Outdoor	Rede	Sensores	Câmara	Visualização	Interação
Virtual Lego (Henrysson et al., 2005)	Telemóvel	Indoor	Não utilizado	Não utilizado	Sim	Monitor do telemóvel	Teclado
ALU (Mohammed-Amin et al., 2012)	<i>Smartphone</i> ou <i>tablet</i>	Outdoor	WLAN ou WWAN	GPS, Inercial	Sim	Monitor do <i>smartphone</i> ou <i>tablet</i>	Monitor do <i>smartphone</i> ou <i>tablet</i>
VisitAR (Gattullo Michele et al., 2013)	<i>Smartphone</i> ou <i>tablet</i>	Outdoor e indoor	WLAN ou WWAN	GPS, inercial	Sim	Monitor do <i>smartphone</i> ou <i>tablet</i>	Monitor do <i>smartphone</i> ou <i>tablet</i>

3 Unidades móveis leves e de baixo custo para realidade aumentada

Neste capítulo são propostas e descritas as MARS utilizadas nesta dissertação. É apresentada a sua arquitetura geral e as suas características principais, nomeadamente o *hardware* utilizado, o seu preço e peso estimado.

3.1. Arquitetura geral

As MARS propostas nesta dissertação são de dois tipos: imersivas, baseadas em HMDs e com sensores ligados à componente de processamento; não imersivas, constituídas apenas por dispositivos móveis como *tablets* ou *smartphones*. Ambas as unidades utilizam a arquitetura representada na Figura 26.

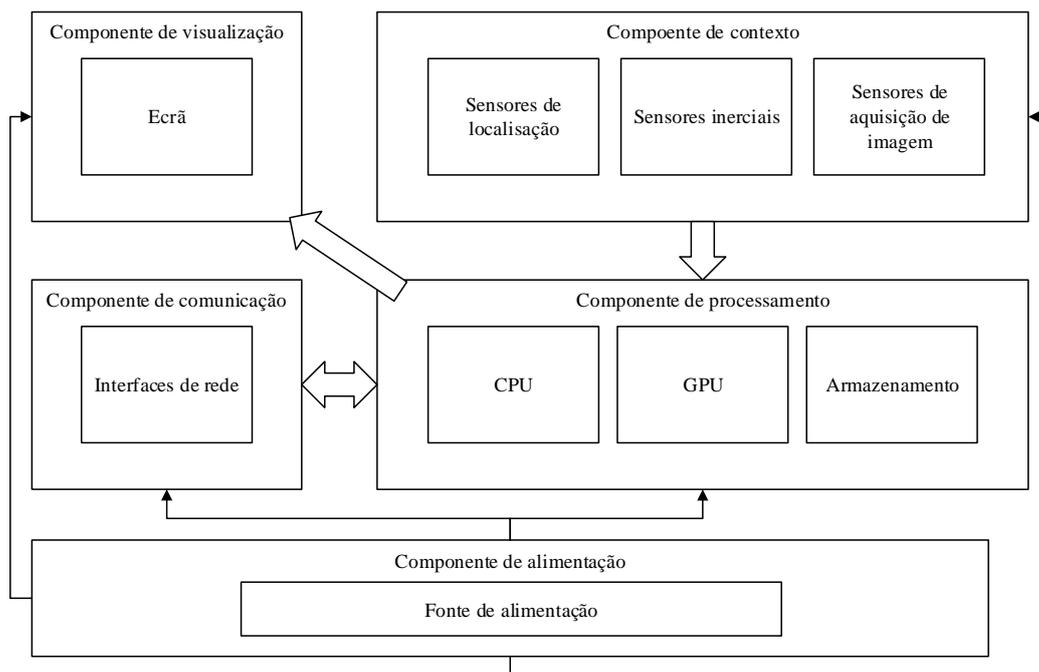


Figura 26 Diagrama de arquitetura proposta para unidades móveis de realidade aumentada

Esta arquitetura foi definida tendo como base a arquitetura das MARS apresentadas no capítulo anterior e é composta pelos seguintes componentes: Visualização, Contexto, Processamento, Comunicação e Alimentação.

O componente de visualização consiste num dispositivo de apresentação, como um ecrã, que permite visualizar, o conteúdo virtual em conjunto com uma visualização do mundo real. O componente de contexto é responsável pela recolha de informação contextual do ambiente. É constituído por três tipos de sensores diferentes: sensores de localização responsáveis pela aquisição e fornecimento da posição atual do utilizador; sensores inerciais para obtenção da orientação do utilizador; sensores de aquisição de imagem, tipicamente uma câmara de vídeo ou câmaras de infravermelhos, desde que seja garantida, a apresentação de imagens do mundo real caso sejam necessárias no componente de visualização. O componente de processamento é responsável por reunir a informação adquirida pelo componente de contexto e realizar operações sobre esta. Após a realização de todas as operações sobre essa informação essa é encaminhada para o componente de Visualização para apresentação ao utilizador. O componente de comunicação é constituída por interfaces de rede que possibilitam a troca de dados com dispositivos externos à unidade móvel. O componente de alimentação energética é constituído por uma fonte de alimentação que é responsável pelo fornecimento de energia elétrica a todos os componentes da unidade móvel.

3.2. Caracterização do sistema

Cada componente da arquitetura proposta pode diferir de protótipo para protótipo e pode ou não estar integrado no componente de processamento.

Dispositivos como os computadores portáteis, *single board computers* (SBC), *tablets*, *smartphones*, ou *smartglasses* são muito convenientes para implementar MARS porque integram a maioria dos componentes necessários, segundo a arquitetura definida anteriormente. Estes possuem uma boa capacidade de processamento (componente de Processamento), possuem interfaces WLAN e Bluetooth (componente de Comunicação), e ainda possuem variados sensores como: sensores de localização como recetor de coordenadas GPS; sensores inerciais como acelerómetros, magnetómetros, inclinómetros e giroscópios para a obtenção da orientação do utilizador; sensores óticos como câmaras para aquisição de imagens; permitindo-se assim a obtenção do contexto onde se insere o utilizador (componente de Contexto) e quando não estão integrados no dispositivo este tipo de sensores podem ser ligados via Bluetooth ou USB. Estas unidades possuem ecrãs próprios que são utilizados como componente de Visualização. Quando se pretende uma configuração mais imersiva das unidades MARS são utilizados HMDs do tipo *optical see-through* ou *vídeo see-through*. Podem ser utilizadas baterias

integradas, caso o dispositivo as possua, ou externas para realizar a alimentação do sistema (componente de Energia).

3.3. Unidades Protótipo

Foram propostas cinco MARS no sentido de estudar variantes no que toca ao preço, ao peso, ao poder computacional e à imersividade.

Estas unidades têm como base os seguintes dispositivos: um computador portátil (1), um *tablet* Windows (2), um *tablet* Android (3), um *smartphone* (4) e uns *smartglasses* (5); foram escolhidos de forma a representar vários tipos de unidades móveis com diferentes tipos de dispositivos disponíveis no mercado. As unidades móveis com base no computador portátil e no *tablet* Windows serão utilizadas apenas como componentes de processamento, usando como componente de visualização um HMD, e serão transportadas, respetivamente, numa mochila e numa mala. Em conjunto com os *smartglasses* estas serão as MARS mais imersivas, ou seja, aquelas em que o seu componente de visualização é um HMD. Já as unidades móveis com base no *tablet* Android num *smartphone* serão menos imersivas, contudo, não será necessário nenhum componente adicional a estas, uma vez que estes dispositivos já possuem todos os componentes necessários, de acordo com a arquitetura apresentada na secção 1. As MARS propostas podem ser visualizadas na Figura 27.

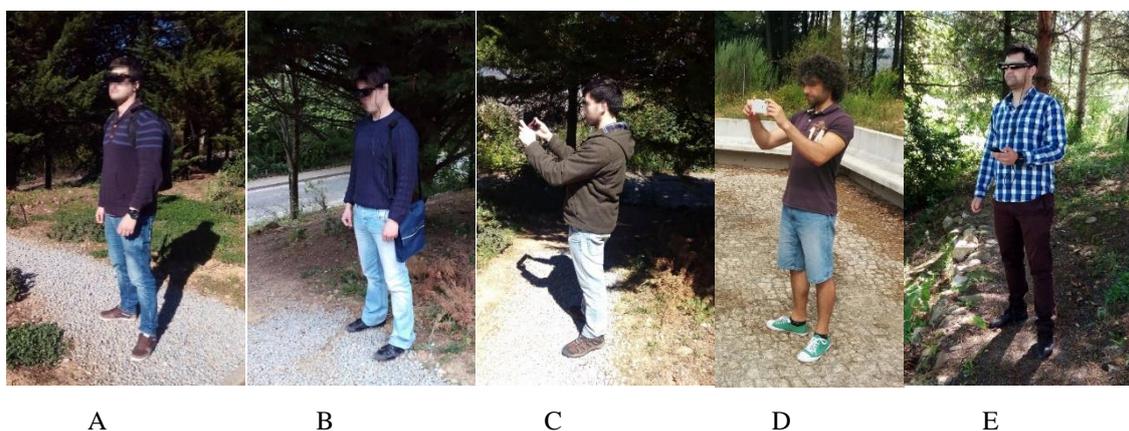


Figura 27 Vários protótipos de MARS propostos. (A) Computador portátil (B) *Tablet* Windows (C) *Tablet* Android (D) *Smartphone* (E) *Smartglasses*.

A unidade (1) é uma unidade de grande poder computacional, esta pretende estar mais próxima das MARS clássicas, um computador portátil numa mochila com vários dispositivos ligados a este com o objetivo de proporcionar um ambiente imersivo ao utilizador. Esta é composta pelo portátil Toshiba P750-130 que possui um processador Intel Core i7 com 2 GHz de velocidade de processamento, 8 GB de memória RAM e 250 GB de memória de armazenamento,

funcionando como componente de processamento. O componente de comunicação é uma placa de rede sem fios Qualcomm Atheros AR9002WB-1NG e o componente de alimentação energética é uma bateria de íões de lítio, estando ambos os componentes integrados no computador portátil. É usado um HMD Vuzix STAR 1200XLD *optical see-through* como componente de visualização, o qual é ligado por HDMI ao componente de processamento. Este HMD proporciona uma maior sensação de imersividade ao utilizador através da sobreposição de conteúdos no mundo real. O componente de contexto é assegurado: por um recetor de coordenadas GPS Navicom NAV-GP01S, que disponibiliza a localização do utilizador com uma precisão de três metros em espaços abertos; pelo *head tracker* Vuzix Wrap Tracker 6TC que permite a obtenção da orientação, inclinação e rotação da cabeça do utilizador; pela câmara frontal do HMD com uma resolução *Full HD*. A maioria dos sensores deste componente foi ligada através de portas USB ao componente de processamento, pelo que foi necessária a utilização de um *hub* USB para aumentar o número de entradas disponíveis, uma vez que, duas das quatro portas USB do computador portátil ficam inacessíveis quando o mesmo é colocado na mochila. Esta unidade é transportada numa mochila como se pode ver na Figura 27 (A). Trata-se de uma MARS de custo elevado: o portátil tem um custo de 700€, os HMD 4700€ e o GPS 100€, rondando o custo total do sistema os 5500€ (valores aprox. à data de julho 2015). Nesta MARS o peso está distribuído por 138 gramas de peso na zona do dorso nasal e cabeça e na zona dos ombros e costas o utilizador tem que transportar cerca de 3530 gramas. A Figura 28 apresenta os vários dispositivos utilizados nesta unidade móvel, pode-se visualizar o HMD, a câmara posicionada na parte frontal deste, o recetor de coordenadas GPS, o comando do HMD que serve para controlar o brilho, o contraste e o modo de visualização, e o computador portátil.



Figura 28 Dispositivos constituintes da MARS (1)

A unidade (2) é uma MARS com um peso intermédio, imersiva e mais compacta que a anterior. O seu componente de processamento é um *tablet* Windows Asus Vivo Smart ME400C com um processador Intel Atom Z2760 Dual-Core com 1,80 GHz de velocidade de processamento, 2 GB de memória RAM e 64 GB de memória de armazenamento. O *tablet* possui ainda uma placa de rede sem fios que será utilizada como componente de comunicação. Através de uma porta micro HDMI foi ligado um HMD Vuzix *video see-through* 1200DXAR, o qual constitui o componente de visualização desta MARS. O componente de contexto é formado por um recetor de GPS XC-GD75 com uma precisão de 3 metros, por duas câmaras VGA posicionadas na parte frontal do HMD e pelo *head tracker* Vuzix Wrap Tracker 6TC, integrado no HMD. Como são necessárias três portas USB e, dado que o dispositivo que vai servir de componente de processamento apenas possui uma porta de ligação microUSB, foi necessária a colocação de um *hub* de expansão USB nessa porta, passando-se, assim, a dispor de três portas de ligação USB. A alimentação energética do componente de processamento e de visualização é garantida pela bateria integrada no componente de contexto. Porém, este dispositivo, para fornecer convenientemente energia a todos os dispositivos conectados às portas USB, precisa de uma fonte de alimentação adicional. Para tal, utilizou-se uma bateria externa Xiaomi Mi Power Bank, com uma capacidade de 10,4Ah. Esta unidade móvel tem dimensões menores que a unidade móvel baseada no computador portátil, sendo possível o seu transporte numa simples bolsa lateral, a qual pode ser visualizada na Figura 27 (B). O custo do componente de processamento ronda os 250€, o HMD é o dispositivo mais caro custando aproximadamente 1.500€, o recetor GPS tem um custo aproximado de 30€ e a bateria externa de 20 €, perfazendo um custo total aproximado de 1.810€. Quanto ao peso, a MARS *tablet* Windows tem o peso distribuído principalmente por dois locais, 125g na zona da cabeça e 1075 gramas num dos ombros, existindo ainda cabos que vão desde a mala até à zona da cabeça. A Figura 29 apresenta os vários dispositivos constituintes desta MARS, na zona central está o componente de processamento, pode-se visualizar o componente de visualização e a fonte de alimentação no topo da figura, na parte inferior é apresentado o recetor de coordenadas GPS e o controlador do HMD, todos estes dispositivos estão conectados ao *hub* USB.



Figura 29 Dispositivos da MARS (2).

A MARS (3) menos imersiva que as duas anteriores, contudo, mais leve e barata, é constituída apenas pelo *tablet* Android Samsung Galaxy Tab Pro 8.4, apresentado na Figura 30. Este possui um processador ARM Quad-core com 2.4GHz de velocidade de processamento, 2GB de RAM e 16GB de memória. O componente de visualização consiste no seu monitor, com uma dimensão de 8,4 polegadas e uma resolução de 2560 por 1600 pixéis. Este dispositivo possui, ainda, duas câmaras integradas, sendo que para efeitos da unidade móvel só será utilizada a sua câmara traseira de oito megapixéis. Os outros dispositivos integrados neste componente de processamento, e que preenchem os requisitos da arquitetura proposta, são: os sensores inerciais, o recetor de coordenadas GPS e o interface WLAN. A sua bateria interna de 4,8Ah fornece energia suficiente para manter o dispositivo em utilização por um tempo considerável. Esta unidade móvel pode ser visualizada na Figura 27 (C). O preço total aproximado desta unidade móvel é de 310€. O *tablet* pesa 331 gramas, sendo este peso suportado pelos dois braços do utilizador.



Figura 30 Unidade móvel (3), baseada num *tablet* Android.

A MARS (4) é baseada num *smartphone*, pretendendo-se que seja uma MARS leve, barata e compacta. Nesta proposta é constituída pelo *smartphone* BQ Aquaris E5 FHD com sistema operativo Android, apresentado na Figura 31. Como componente de processamento, está equipado com um processador ARM True8Core a 2,0 GHz, 2GB de memória RAM e 16GB de armazenamento. Para o componente de visualização foi considerado o seu ecrã de cinco polegadas, com uma resolução de 1920 por 1080 pixéis. No componente de contexto são utilizados os seus sensores integrados de orientação, o recetor de coordenadas GPS, e para a aquisição de imagens é utilizada a câmara traseira de 13 megapixéis. O componente de alimentação desta unidade móvel é formado pela bateria integrada de 2,5Ah do dispositivo e o seu componente de comunicação é formada pelo interface WLAN. A MARS pode ser visualizada em utilização na Figura 27 (D). O seu custo é de aproximadamente 270€. O seu peso é de 134g podendo este ser mais notado nos braços ou em apenas um dos braços, caso o utilizador o transporte com uma única mão.



Figura 31 Unidade móvel (4) baseada num *smartphone*.

A MARS (5), baseada num *smartglasses* Epson Moverio BT-200, pretende-se que seja imersiva e, ao mesmo tempo, mais barata e leve que as outras MARS imersivas. Esta unidade móvel é composta, essencialmente, por dois dispositivos, como mostra a Figura 32. O dispositivo de visualização, do estilo HMD *optical see through*, é utilizado como componente de visualização. O HMD contém, também, uma camara VGA para a captação de imagens e um *head tracker* para a obtenção da correta orientação do utilizador. O outro dispositivo, ao qual o HMD está conectado, é o componente de processamento onde também se encontra o componente de comunicação que funciona através de redes sem fios. Este dispositivo possui um processador de arquitetura ARM de 1.2 GHz e 8 GB de armazenamento e 1 GB de memória RAM, um recetor de coordenadas GPS e uma bateria integrada de 2,72Ah, como componente de alimentação, responsável pelo fornecimento de energia durante cerca de 6 horas. Este modelo inclui lentes que podem ser colocadas na parte frontal do HMD para que a sua transparência

seja menor permitindo uma melhor visualização em espaços exteriores, onde existe maior luminosidade. Na Figura 27 (E) é apresentado um utilizador com esta unidade móvel em utilização. Esta MARS tem um custo aproximado de 700€. O seu peso é de 88g no dorso nasal do utilizador e de 124g numa das suas mãos.



Figura 32 Dispositivos da MARS (5)

De modo a considerar uma MARS imersiva e de mais baixo custo, testou-se, também um protótipo composto por uns óculos NEJE Colorcross em conjunto com um *smartphone*. Estes óculos podem ser utilizados para visualização de conteúdos imersivos de realidade virtual em 3D sendo apenas necessária a colocação de um *smartphone* dentro deste dispositivo, como se ilustra na Figura 33 (A). Este dispositivo recorre a estereoscopia, duplicando a imagem presente no monitor do *smartphone*. Neste trabalho, utilizou-se o mesmo *smartphone* que foi proposto na MARS (4), ou seja, o BQ Aquaris E5 FHD, em conjunto com os óculos de realidade virtual Neje Colorcross. Assim, obteve-se um protótipo leve com todas os componentes colocados na cabeça do utilizador, como se pode ver na Figura 33 (B). Este dispositivo tem um custo aproximado de 20€ e pesa 176g, adicionando o custo e o peso do *smartphone*, obtém-se um custo total de 229€ e 310g de peso, o qual será exercido sobre a cabeça e dorso nasal do utilizador.



Figura 33 HMD baseado num *smartphone*. (A) NEJE Colorcross com *smartphone* inserido. (B) Utilizador com a MARS em utilização.

As unidades móveis propostas têm diferentes características e, conseqüentemente, diferentes propósitos. As soluções baseadas no computador portátil e no *tablet* Windows proporcionam aos utilizadores uma experiência mais imersiva, contudo requerem um maior número de dispositivos externos para cumprir os requisitos da arquitetura. Para além disso, podem limitar o utilizador nos seus movimentos e causar algum desconforto na zona do dorso nasal, ombros e costas. Por outro lado, as unidades móveis baseadas no *tablet* Android e no *smartphone* são menos imersivas, mas são mais leves e mais baratas, e têm a vantagem de possuir todos os componentes necessários para a arquitetura de realidade aumentada integrados num único dispositivo. Porém, o utilizador tem que posicionar os dispositivos ao nível dos seus olhos, o que pode causar alguma fadiga nos membros superiores após uma utilização de longa duração. Já com a solução baseada nos *smartglasses* e no *smartphone* no modo HMD pretende-se juntar a imersividade das unidades móveis baseadas no computador portátil e no *tablet* Windows com o baixo peso e menor custo das unidades móveis baseadas no *tablet* e *smartphone*. Na Tabela 6, para cada unidade móvel, são identificados os constituintes de cada componente.

Tabela 6 Apresentação do *hardware* de cada unidade móvel proposta.

MARS		Computador Portátil	Tablet Windows	Tablet Android	Smartphone	Smartglasses
Características						
Componente de processamento	CPU	Intel Core i7 2630QM 2.0GHz	Intel Atom Z2760 Dual-core 1.8GHz	Krait 400 Quad-core 2.3GHz	MediaTek MT6592 2.0GHz	TI OMAP 4460 1.2GHz Dual Core
	GPU	Nvidia GeForce GT 540M 1GB	PowerVR SGX545	Adreno 330	Mali 450 até 700 MHz	N.D
	Armazenamento e RAM	250 GB e 8 GB de RAM	32GB e 2GB de RAM	16GB e 2GB de RAM	16GB e 2GB de RAM	8 GB e 1GB de RAM
Componente de visualização	Monitor	Vuzix STAR 1200XLD	Vuzix 1200DXAR	Monitor de 8.4"	Monitor de 5"	Monitor HMD
Componente de contexto	Sensores de Localização	Navicom NAV-GP01S	XC-GD75	Recetor de GPS integrado	Recetor de GPS integrado	Recetor de GPS integrado
	Sensores inerciais	Vuzix Wrap Tracker	Vuzix Wrap Tracker	Sensores inerciais integrados	Sensores inerciais integrados	Sensores inerciais integrados
	Sensores de aquisição de imagem	Câmara Full HD	Duas câmaras VGA	Câmara traseira de 8MP	Câmara traseira de 13MP	Câmara VGA integrada
Interfaces de comunicação		Placa WLAN e Bluetooth	Placa WLAN e Bluetooth	Placa WLAN e Bluetooth	Placa WLAN e Bluetooth	Placa WLAN e Bluetooth
Fonte de alimentação		Bateria integrada	Bateria integrada e Mi Power Bank	Bateria Integrada de 4800 mAh	Bateria Integrada de 2500 mAh	Bateria Integrada de 2720 mAh

As MARS com um maior custo são o computador portátil e o *tablet* Windows com um custo de 5499€ e 1810€ respetivamente. O custo destas duas unidades móveis é superior devido ao preço dos seus componentes de visualização. Em termos de valor monetário seguem-se os *smartglasses* com um custo aproximado de 700€. Já as unidades móveis baseadas no *smartphone* e no *tablet* Android têm um custo de 209€ e 310€. O HMD construído com o *smartphone* tem um custo total aproximado de 229€. O preço de cada componente das várias propostas está indicado na Tabela 7. Alguns componentes não têm preço indicado devido a este já estar integrado no preço dos outros componentes.

Tabela 7 Preço dos vários componentes de cada MARS.

MARS Componentes	Computador Portátil	Tablet Windows	Tablet Android	Smartphone	Smartglasses	Smartphone HMD
Componente de processamento	700€	260€	310€	209€	700€	209€
Componente de visualização	4700€	1500€	-	-	-	20€
Componente de contexto	99€	30€	-	-	-	-
Componente de comunicação	-	-	-	-	-	-
Componente de alimentação	-	20€	-	-	-	-
Total	5499€	1810€	310€	209€	700€	229€

No que toca ao peso, a unidade móvel mais pesada é o computador portátil com 3,7kg, seguindo-se a unidade móvel baseada no *tablet* Windows com 1,65kg. Já as restantes unidades móveis pesam menos que quinhentos gramas, com o *tablet* a pesar 331 gramas, seguindo-se os *smartglasses* com 254g e o *smartphone* é a unidade móvel, com um peso de 134g, o *smartphone* em HMD tem um peso total de 310g.

A Tabela 8 apresenta o peso dos vários componentes nas diferentes MARS propostas, alguns componentes podem ter o peso de dispositivos que façam parte de outros componentes devido à sua integração e conseqüente impossibilidade de pesar cada dispositivo em separado, como o caso das câmaras das MARS computador portátil e *tablet* Windows, pois estas estão integradas no HMD do componente de visualização.

Tabela 8 Peso dos componentes de cada MARS.

MARS Componentes	Computador Portátil	Tablet Windows	Tablet	Smartphone	Smartglasses	Smartphone HMD
Componente de processamento	2365g	580g	331g	134g	124g	134g
Componente de visualização	138g	125g	-	-	88g	176g
Componente de contexto	60g	94g	-	-	-	-
Componente de comunicação	-	-	-	-	-	-
Componente de alimentação	305g	250g	-	-	-	-
Total	3668g (Incluindo peso da mochila)	1200g (incluindo peso da mala)	331g	134g	212g	310g

4 Avaliação da performance dos protótipos propostos

As unidades móveis propostas no capítulo 3 foram objeto de uma avaliação da sua performance relativamente à execução de aplicações de AR. Portanto, neste capítulo são apresentados o desenho e o *setup* experimental da avaliação realizada, são descritas as aplicações desenvolvidas para a medição da performance e apresentados os resultados para cada unidade móvel.

4.1. Desenho dos testes experimentais

Os vários protótipos propostos no capítulo anterior têm diferentes componentes de processamento, o que significa que o poder computacional não é idêntico. Para se analisar a performance de cada um dos protótipos foi realizado então um conjunto de testes.

A avaliação realizada consistiu na análise da variação do número de *frames* por segundo (*frames per second*, fps), pois cada *frame* representa um ciclo de processamento concluído, em função de vários parâmetros que podem aumentar o custo computacional, como é o caso de modelos tridimensionais que são constituídos por, entre outros, vértices e objetos. Este tipo de modelos é muito utilizado em aplicações de AR e para tal, foram realizados três testes diferentes, onde se variou o número de vértices, objetos e modelos presentes, em cada instante, na cena de realidade aumentada, e foi registado, em cada instante, o número de fps, como uma medida da performance do protótipo. Nesta avaliação, apenas foi tido em conta o desempenho pós-*tracking*, não se tendo em conta a influência da técnica de *tracking* na performance do sistema, dado que se optou por usar sempre a mesma técnica em todos os testes. Assim, considerou-se que a variação da performance do sistema será função da carga computacional colocada sobre a CPU e a GPU, pois são responsáveis por tarefas de processamento, proveniente do cálculo de um maior ou menor número de objetos virtuais na cena de AR e da sua complexidade.

O primeiro teste refere-se à análise da influência do número de vértices dos modelos virtuais no peso computacional do sistema. Para tal, após a realização de *tracking* com sucesso, são apresentados, um de cada vez, vários modelos tridimensionais correspondentes a edifícios. Estes modelos têm diferentes números de vértices e um baixo número de objetos. Em cada edifício apresentado, são realizadas 50 recolhas do número de fps. A Figura 34 apresenta o aspeto visual dos vários modelos e a Tabela 9 mostra dados referentes a cada um deles. A maioria desses modelos tridimensionais, Figura 34 (A, C, D, E, F), foi gerada através de um modelador de geração procedimental de edifícios (Adão, Magalhães, Peres, & Pereira, 2014).

Tabela 9 Nome, número, faces, triângulos e objetos dos modelos utilizados.

Nome	Igreja	Templo	Domus 1	Domus 2	Domus 3
Vértices	6.504	10.021	16.170	30.989	69.253
Faces/Triângulos	3.552	17.568	8.780	17.349	36.741
Objetos	10	6	17	19	33

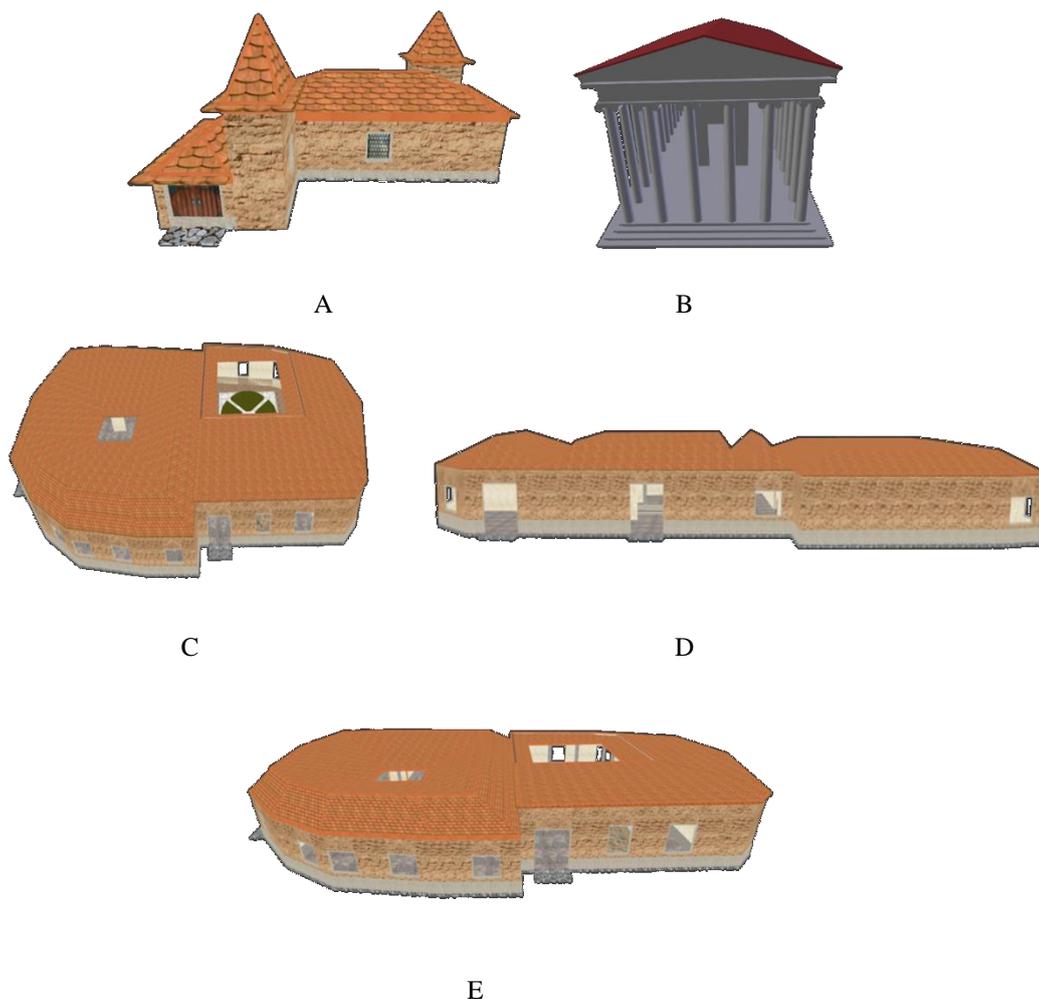


Figura 34 Modelos utilizados. (A) Igreja. (B) Templo grego. (C) Domus 1. (D) Domus 2. (E) Domus 3.

O segundo teste refere-se ao número de objetos presentes na cena, pretendendo-se aferir se estes têm impacto na performance do sistema. Neste teste foram utilizados pequenos cubos, de várias cores. Cada cubo representa um objeto e possui 24 vértices. Na cena de realidade aumentada estarão constantemente a ser carregados cubos para se aferir o peso computacional introduzido pelo crescente número de objetos nas várias componentes de processamento. São realizadas 50 recolhas do número de fps a cada 10 cubos adicionados.

O terceiro teste trata-se de uma versão híbrida dos últimos dois, ou seja, o aumento gradual do número de vértices e objetos presentes na cena de realidade aumentada, analisando-se a variação do número de fps resultante do incremento do número de modelos carregados para a cena. Neste teste, será utilizado o modelo tridimensional do edifício “Igreja”, apresentado na Figura 34 (A), sendo, portanto, carregados 6500 vértices e 10 objetos a cada adição de um novo edifício (que é uma réplica do primeiro edifício, mas colocado numa posição diferente). São realizadas 50 recolhas a cada novo edifício adicionado.

4.2. Setup experimental

Para que os testes de performance pudessem ser realizados com o menor número de condicionantes possíveis foi escolhida uma sala em que a maior fonte luz era iluminação artificial proveniente de lâmpadas fluorescentes, para um maior controlo das condições de iluminação. Caso os testes fossem realizados no exterior as condições em que é efetuada a aquisição de imagem poderiam influenciar os resultados, uma vez que, a iluminação pode ser influenciada pelas condições meteorológicas e esta também varia ao longo do dia.

Nessa sala está presente uma mesa, sobre esta está colocado um cubo com 8 centímetros de aresta, este cubo tem diferentes cores em cada face o que o torna interessante para a utilização em aplicações de realidade aumentada devido à maior facilidade de deteção que este pode proporcionar.

4.3. Aplicações de AR para avaliação da performance

Para aferir a performance gráfica e computacional dos protótipos propostos no capítulo 3, foram desenvolvidas três aplicações de AR, uma para cada um dos testes descritos na secção anterior. As aplicações de AR foram criadas através do Unity3D⁷, uma vez que, este *software* fornece a possibilidade de criar uma vez e compilar para diferentes plataformas, simplificando o processo de desenvolvimento. Em conjunto com o Unity3D utilizou-se o Metaio Software Development Kit (Metaio SDK)⁸. Este *software* fornece um conjunto de funcionalidades para a criação de aplicações de AR com técnicas de *tracking* com ou sem marcas.

O Metaio SDK suporta várias técnicas de *tracking* baseadas em marcas ou *markerless*. Como método de *tracking* a utilizar nas aplicações desenvolvidas para analisar a performance das unidades móveis propostas, optou-se pela técnica *markerless edge based tracking*. Nesta técnica é utilizado um modelo de linhas baseado nas arestas do objeto real do qual se pretende realizar o *tracking*. Esta técnica permite que se consiga uma boa robustez na realização do *tracking*, possibilitando que o conteúdo aumentado seja apresentado convenientemente e sem grandes perturbações, podendo esta técnica tanto ser aplicada em ambientes interiores como exteriores.

Qualquer uma das aplicações de AR desenvolvidas no âmbito deste trabalho realizam o *tracking* recorrendo a um objeto real, neste caso um cubo. Durante a execução das aplicações são armazenados vários dados para posterior análise, como é o caso do número de fps, o número de objetos carregados e o número de vértices presentes na cena.

A técnica de *tracking* escolhida para a avaliação de performance recorre às imagens recolhidas pela câmara para realizar a deteção de arestas similares a um modelo de linhas presente na aplicação, neste caso um cubo. Esta técnica foi escolhida devido à sua estabilidade e robustez em relação a outras. Na Figura 35 pode-se visualizar um modelo de auxílio à realização da ação de *tracking*, semelhante ao modelo de linhas, ao lado do objeto real durante a execução da aplicação. Este modelo, em conjunto com um ficheiro de configuração onde estão especificados alguns parâmetros da técnica de *tracking* e um modelo de superfície, formam os requisitos necessários para o bom funcionamento desta técnica de *tracking*.

⁷ <http://unity3d.com>

⁸ <http://dev.metaio.com/sdk/>

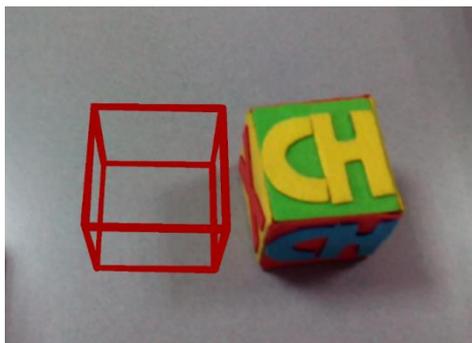


Figura 35 Modelo de linhas e objeto real

Após o correto alinhamento entre um modelo de linhas virtual e o objeto real, é apresentado no componente de visualização o conteúdo aumentado. A fim de se garantir condições iguais para cada teste realizado, em cada dispositivo testado a resolução da câmara foi reduzida na aplicação para uma resolução de 800 por 600 pixéis e apenas metade desta é processada pelo algoritmo de AR, ou seja, este apenas lida com imagens de 400 por 300 pixéis. Esta abordagem diminui a qualidade visual e a robustez do algoritmo, contudo, devido às diferentes resoluções que as câmaras dos protótipos possuem, esta é uma forma de achar um ponto intermédio e justo para a realização dos testes de performance.

Foram então desenvolvidas três aplicações distintas, cada uma com um objetivo diferente. Cada aplicação é responsável por executar uma situação das três descritas na secção anterior, ou seja, o carregamento de vários edifícios para a análise da variação de performance no carregamento de vértices, o carregamento gradual de objetos e o carregamento constante de um edifício tridimensional para o aumento do número de vértices e objetos presentes na cena de realidade aumentada. Em todas as aplicações é registado para um ficheiro, após a correta realização do *tracking*, o número de fps e o número de vértices e objetos presentes na cena. O método responsável por executar a operação de recolha destes dados é chamado a cada *frame* quando a aplicação se encontra em execução.

A aplicação referente ao carregamento de vários edifícios para testar se a variação do número de vértices tem impacto na performance do sistema, é responsável pelo carregamento de cinco edifícios diferentes. Para cada edifício é recolhido para um ficheiro o número de fps durante 500 *frames*. Na Figura 36 (A) está representada a aplicação onde é apresentado um edifício após o correto alinhamento do modelo de linhas com o objeto para *tracking*.

A aplicação responsável pelo carregamento de objetos é apresentada em funcionamento na Figura 36 (B), onde são gerados pequenos cubos coloridos em torno do objeto para *tracking* até se perfazer um total de 400 objetos diferentes. A cada 10 objetos adicionados são realizadas 50 recolhas consecutivas do número de fps para um ficheiro para posterior análise.

Na aplicação para a realização do teste de carregamento gradual de modelos (aumentando-se o número de vértices e objetos) é adicionado um modelo tridimensional e após o seu completo carregamento, são recolhidos os fps em 50 *frames* consecutivas. Em seguida, é carregado um novo modelo tridimensional para uma posição aleatória à volta do objeto de *tracking*, como é apresentado na Figura 36 (C). Cada modelo corresponde ao carregamento de 6504 vértices e de 10 objetos.

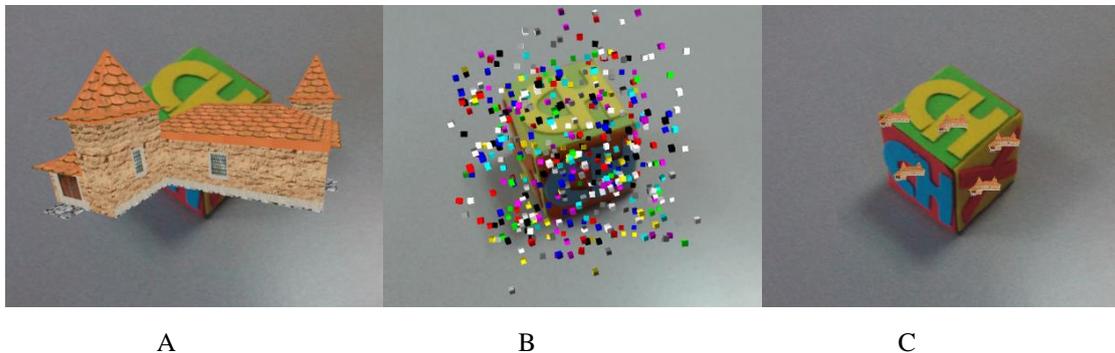


Figura 36 Aplicações de AR para testes de performance em execução. (A) Teste do número de vértice (B) Teste com o número de objetos (C) Teste com o número de vértices e objetos.

4.4. Resultados

Após a realização dos testes com as várias aplicações e com cada um dos protótipos, dados recolhidos, referentes ao número de fps, foram objeto de análise, cujos resultados são apresentados nesta secção. Como o número de fps está relacionado em parte com a fluidez do sistema, foram definidos vários limites para os resultados. Deste modo, quanto maior forem os fps melhor serão os resultados, contudo, existe a limitação de os monitores utilizados nos protótipos possuírem um *refresh rate* de cerca de 60 Hz o que significa que o ideal será ter cerca de 60 fps ou mais, porém resultados entre os 30 a 60 fps são considerados bons pois, para o olho humano, não é quase nula a identificação de falhas ou atrasos na apresentação dos conteúdos. Resultados entre os 20 a 30 fps são classificados como resultados satisfatórios, pois ainda é pouco perceptível a existência de atrasos nas *frames* visualizadas. Já resultados entre os 15 a 20 fps serão considerados razoáveis, pois apesar de já se poder notar a existência de atrasos na fluidez do contudo apresentado, a experiência de AR não é de todo prejudicada. Resultados abaixo dos 15 fps serão considerados maus pois a experiência de AR é prejudicada pela notória existência de atrasos e falhas na apresentação dos conteúdos (Brand, 2001). De salientar que os termos utilizados para descrever cada protótipo (*tablet android*, *smartphone*, *smartglasses*, *tablet Windows*, computador portátil) apenas são referentes aos dispositivos de processamento utilizados concretamente neste trabalho, não sendo isto uma generalização, pois podem existir outros dispositivos com melhor desempenho onde, realizando-se os mesmos testes, os resultados seriam completamente diferentes.

Os resultados obtidos no primeiro teste, carregamento de um número crescente de vértices, mostram que a MARS computador portátil apresenta melhor performance, com uma média de 46 fps em todos os modelos. As restantes unidades móveis, excluindo os *smartglasses*, obtiveram bons resultados, com o *tablet Windows* a obter uma média de 39 fps, seguindo-se o *smartphone* com 19 fps de média e o *tablet Android* com 17 fps de média. Já os *smartglasses* apresentaram uma média de 9 fps, notando-se claramente uma discrepância em relação aos outros protótipos. Na Figura 37 é apresentado um gráfico onde se pode denotar que não existem grandes variações no número de fps em cada unidade móvel, no que toca à variação do número de vértices de cada edifício testado.

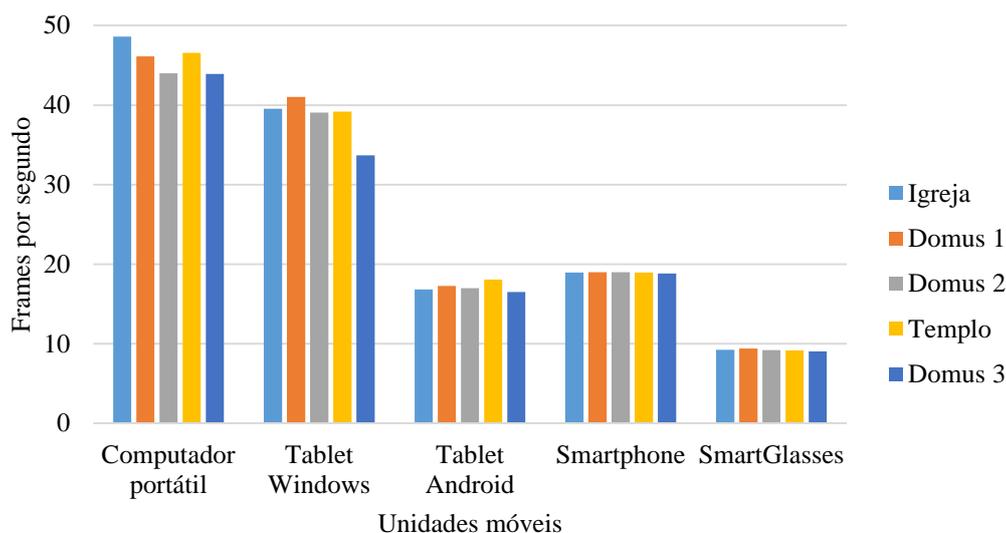


Figura 37 Variação do número de fps no carregamento de modelos tridimensionais.

Na Figura 38 são apresentados os resultados relativos aos testes no carregamento de objetos. Pode notar-se que mesmo com um elevado número de objetos, a MARS computador portátil tem um bom desempenho, mantendo-se junto das 30 fps. Já quanto às outras unidades móveis, o *tablet* Windows, apresentada uma variação de fps que se mantem entre os 20 e 30 fps, até aos 200 objetos, sendo que a partir daí as *frames* baixam consideravelmente até cerca de 12 fps. O *tablet* Android e o *smartphone* tiveram um desempenho entre os 20 e 15 fps. Já os *smartglasses*, mais uma vez, obtiveram uma performance a rondar as 10 fps. É de notar que neste teste evidencia-se uma quebra de performance relacionada com o número de objetos presentes na cena.

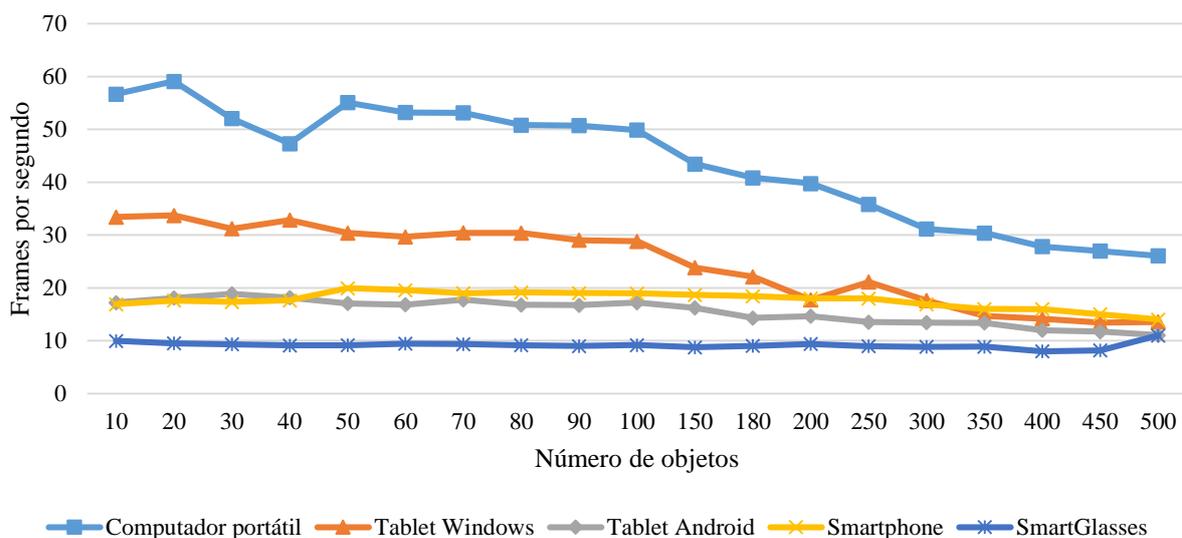


Figura 38 Variação do número de fps no carregamento de objetos nas várias unidades móveis.

Numa comparação com o teste anterior é possível verificar que o número de vértices não aparenta influenciar significativamente a performance do sistema, mas já o número de objetos tem uma influência que pode ser considerada significativa. Comparando os resultados na situação em que se tem 250 objetos presentes na cena aumentada, no caso do 2º teste, com o modelo da igreja, ou seja, comparar 6000 vértices (24 por cada objeto) com 6504, é possível verificar que existe uma quebra de 49 para 36 fps, no caso do computador portátil, de 40 para 18 fps no *tablet Windows*, 17 para 14 fps no *tablet Android*, 19 para 18 fps no *smartphone* e de cerca de 9 para 8 nos *smartglasses*. Apesar da variação ser menor nas últimas três unidades móveis, o impacto é maior pois essa variação pode ser mais perceptível ao utilizador.

No último teste realizado, em que é aumentado, de uma forma gradual, o número de objetos e vértices presentes na cena, os resultados são similares ao segundo teste, em que se procede ao carregamento de número cada vez maior de objetos, como se pode visualizar no gráfico presente na Figura 39. Evidencia-se uma descida do número de fps, mais notória nas unidades móveis, baseadas no *tablet Windows* e no computador portátil. Ainda assim, estas duas unidades mantêm-se com cerca de 30 fps, para o caso do computador portátil, e com cerca de 23 fps, para o *tablet Windows*. Quanto às restantes unidades móveis os resultados mantêm-se abaixo dos 20 fps, sendo que, mais uma vez, a ordem da melhor performance atingida é obtida pelo *smartphone*, seguindo-se o *tablet Android* e, por último, os *smartglasses* com uma variação entre os 9 fps e 10 fps ao longo do teste.

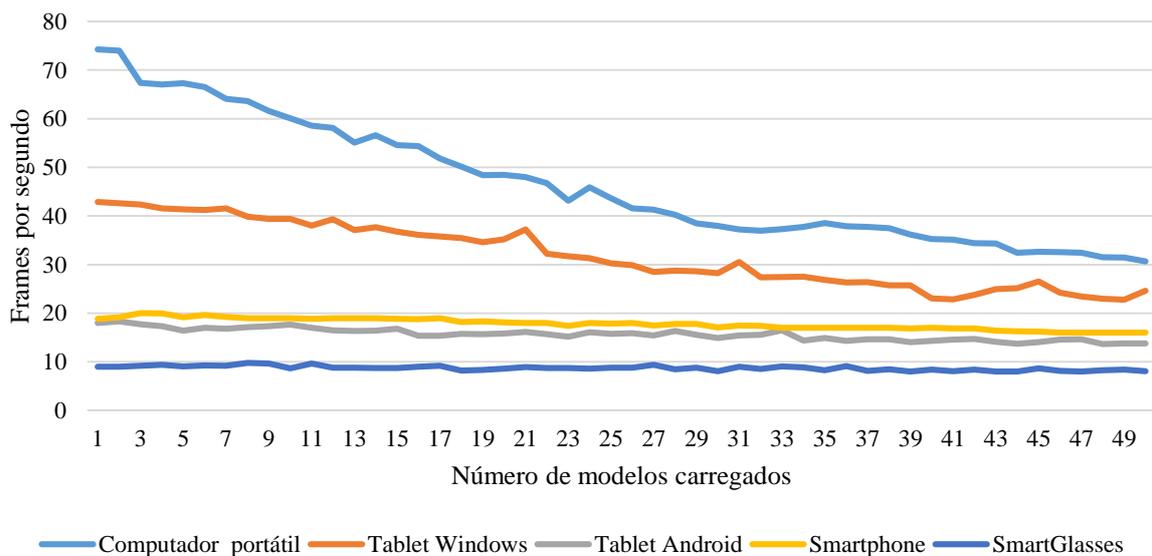


Figura 39 Variação do número de fps no carregamento de modelos nas várias unidades móveis.

Comparando-se os valores presentes na Tabela 10, em que é estabelecida a relação entre os resultados dos testes com os objetos (segundo teste apresentado), e o resultado dos testes com um elevado número de vértices e objetos (terceiro teste apresentado), na fase em que estão carregados 10 modelos (10 cubos num caso e 10 edifícios noutra caso) em cada teste, são praticamente semelhantes, existindo uma pequena variação no número de fps. Pode-se então afirmar que, a nível geral, é possível verificar que a variação do número de vértices não tem uma diferença significativa na performance do sistema, mas o aumento do número de modelos carregados e o número de objetos de cada modelo já tem um maior impacto, devendo-se este maior impacto à necessidade de replicação dos comportamentos (como translações, rotações e escalas) por parte do GPU.

Tabela 10 Dados do teste com objetos e do teste com objetos e vértices com 10 modelos carregados.

Unidade móvel	Teste com objetos (10 objetos e 2400 vértices)	Teste com objetos e vértices (10 modelos carregados, 100 objetos e 65040 vértices)
Computador portátil	57fps	60fps
Tablet Windows	34fps	39fps
Tablet Android	17fps	18fps
Smartphone	17fps	19fps
Smartglasses	10fps	9fps

Com a análise aos vários testes realizados pode-se notar que a MARS com melhor performance foi o computador portátil, atingindo bons resultados relativamente aos outros protótipos, mesmo nas condições mais exigentes destes testes. Provavelmente, tais resultados devem-se ao seu elevado poder de processamento e ao facto de este possuir uma placa gráfica dedicada. Uma vez que este dispositivo não foi concebido para um cenário de mobilidade contínuo, os testes foram realizados com uma configuração de poupança de energia, o que consequentemente limitou a performance do sistema.

Em seguida, surge o *tablet Windows* com bons resultados nos testes referentes ao carregamento de vértices. Contudo, nos testes de carregamentos de objetos, quando estão presentes mais que 200 objetos, o número de fps fica abaixo de 20. Existe uma pequena subida que se pode dever a alguma oscilação/perturbação, que possa ter ocorrido durante os testes, ou devido à passagem de um *garbage collector*. Esse tipo de variação é mais notória nos testes realizados no carregamento de objetos e vértices.

O *smartphone*, no geral, obteve melhores resultados que o *tablet* Android, mas mesmo assim, não existe grande discrepância entre eles, tendo estes dispositivos resultados em torno das 20 fps. Apesar da performance obtida nestes dois dispositivos ser inferior à das outras duas unidades móveis já referidas, estas não devem ser descartadas, uma vez que, este tipo de dispositivos estão bem disseminados pela população mundial. A sua tendência, segundo a Cisco, no seu Visual Network Index (Cisco, 2015) é que aumente, passando de 4,3 mil milhões de utilizadores com dispositivos móveis para 5,2 mil milhões em 2019, e mais de 11 mil milhões de dispositivos móveis estarão conectados à internet, correspondendo a 1,5 dispositivos *per capita*.

Já os resultados relativos aos *smartglasses* não foram os ideais, não passando das 10 fps em todos os testes. Estes resultados devem-se ao fraco poder de processamento deste dispositivo, contudo torna-se bom para a utilização em aplicações de realidade aumentada pelo seu reduzido peso e maior imersividade.

Quanto às câmaras das unidades móveis, a sua qualidade difere de protótipo para protótipo, sendo que, neste aspeto, as câmaras das unidades móveis baseadas no *tablet* Windows e nos *smartglasses* deixam muito a desejar quanto à sua qualidade de imagem, por terem uma baixa resolução e, nomeadamente a câmara da MARS *tablet* Windows em ambientes com muita luminosidade as suas imagens são muito claras, com predominância da cor branca, o que torna difícil a utilização das imagens captadas para *tracking*. Porém, devido ao ambiente controlado em que decorreu a avaliação, esta diminuição da qualidade de imagem não teve efeitos no *tracking*. Quando à utilização destas MARS podem existir alguns efeitos negativos na MARS *tablet* Windows, as imagens captadas pelas câmaras são utilizadas para efeito de visualização o que torna a movimentação difícil para o utilizador num ambiente de muita iluminação. Já nos *smartglasses* o mesmo não se verifica porque estes são *optical see-through*. Quanto às restantes unidades móveis, as suas câmaras têm boa qualidade para utilização em aplicações de AR.

Comparando-se o peso das várias MARS com o desempenho obtido nos testes realizados, como se pode ver no gráfico da Figura 40, é possível verificar que as MARS mais pesadas foram as que obtiveram melhores resultados, contudo, o *smartphone* é a MARS mais leve e foi a terceira MARS com melhor performance.

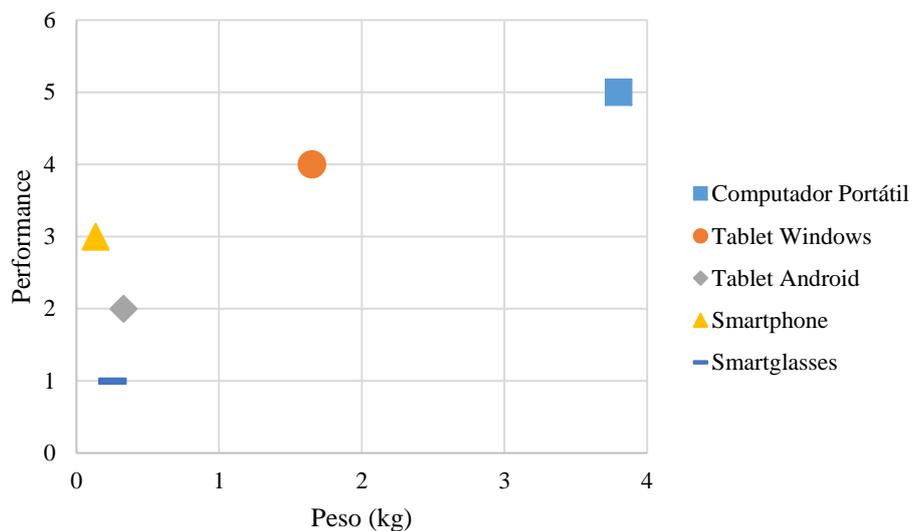


Figura 40 Relação entre o peso e a performance dos vários protótipos de MARS.

A relação do preço com a performance é apresentada na Figura 41, notando-se que as unidades móveis mais caras têm maior performance que as restantes, exceção feita aos *smartglasses*. Pois este tipo de dispositivos é recente no mercado, por isso o seu maior custo, e a sua utilização em aplicações que exijam um maior processamento pode não ser o ideal.

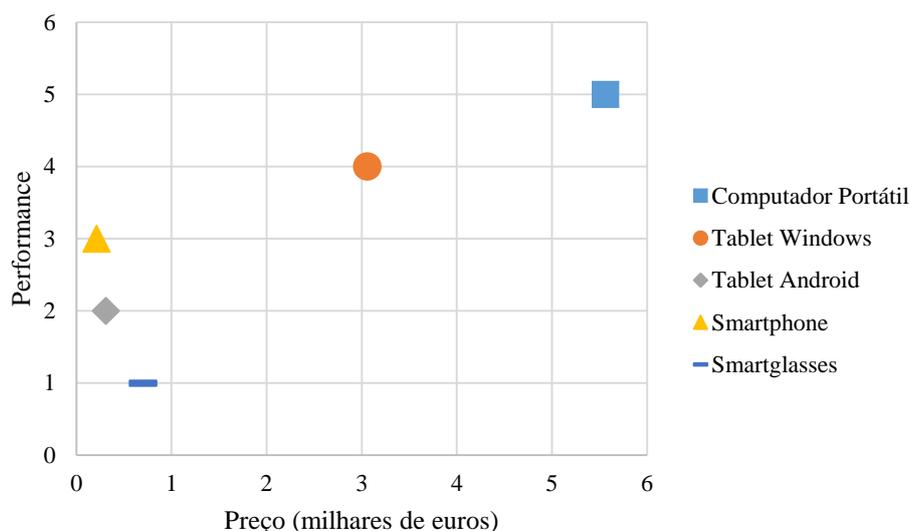


Figura 41 Relação entre o preço e a performance dos vários protótipos de MARS.

5 Testes com utilizadores

Para avaliação dos protótipos de MARS propostos, junto de utilizadores, foram realizadas experiências, para aferição do conforto, satisfação e imersão, em cada unidade móvel, e em contextos diferentes, *indoor* e *outdoor*. Neste capítulo são descritos os cenários de realização das experiências, o seu procedimento, as aplicações desenvolvidas para o efeito, e apresentados os resultados obtidos.

5.1 Testes em contexto *indoor*

Com a realização de uma experiência num espaço interior, pretendeu-se avaliar os protótipos propostos para MARS, no que diz respeito ao conforto, satisfação e nível de imersividade, minimizando-se a influência das condições de iluminação. Para tal, existiu a necessidade de criar um contexto para a realização da experiência, assim sendo, o tema escolhido foi o de uma exposição virtual sobre borboletas.

Os testes foram realizados numa sala de aula, em estilo de anfiteatro, no edifício Engenharias I da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro. Procurou-se criar um ambiente controlado e com algum isolamento do ambiente exterior, em que as condições sonoras e de luminosidade se mantiveram praticamente constantes durante o decorrer da experiência, garantindo-se assim o mínimo de interferências e perturbações na vivência da experiência. Na Figura 42 é apresentada a sala utilizada para a realização da experiência, já devidamente equipada com o material da experiência.



A

B

Figura 42 Sala utilizada para as experiências (A) Imagens para *tracking* nas paredes e mesas; (B) Imagem no topo da escadaria.

5.1.1 Desenho experimental

Tendo-se como principais objetivos a obtenção de feedback por parte dos utilizadores no que concerne à facilidade e movimentação, conforto e satisfação com cada MARS. Para tal, foram definidas várias tarefas a executar no decorrer da experiência, após a realização destas o utilizador conseguiria aferir como se sentiu em relação a cada um dos aspetos que se pretende avaliar com a utilização de cada protótipo. Cada tarefa exigia ao utilizador uma determinada postura (visualização de conteúdos em paredes e mesas) e movimentação (subida de uma escadaria e circulação pela sala). No final da experiência o utilizador estava preparado para indicar um determinado grau de satisfação em relação ao protótipo testado.

A exposição era constituída por várias zonas, conforme se observa na Figura 43, nesta estão assinalados os locais onde foram colocadas as imagens para *tracking*. Estas zonas estão também relacionadas com o percurso que o utilizador tinha que realizar durante a experiência. O utilizador iniciava a experiência na zona junto à porta da sala de aula, deslocando-se, de seguida, para a zona dos quadros, posteriormente para as duas mesas e por fim subia a escadaria onde, no topo, estava colocada a última imagem para *tracking*.

Legenda da Figura 43	
	Imagens na porta e na parede
	Imagens nos quadros
	Imagens na mesa e na mesa de apoio
	Imagem no topo da escadaria

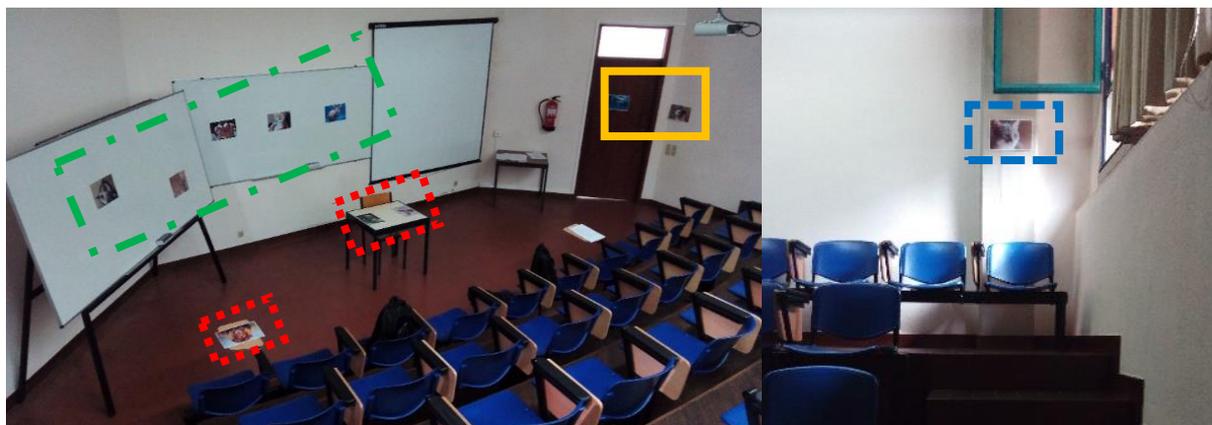


Figura 43 Zonas de exposição das imagens.

Nas Tabelas 11, 12, 13 e 14 estão representadas as imagens referentes à exposição virtual, que foram usadas na experiência. Estas serviram para a realização do *tracking*, é também apresentado o resultado obtido após a realização bem-sucedida da ação de *tracking*. A Tabela 11 refere-se às imagens expostas na porta e na parede da sala, a Tabela 12 às imagens colocadas nos quadros, a Tabela 13 diz respeito às imagens na mesa e na mesa de apoio e a Tabela 14 refere-se à imagem exposta no topo de uma das escadarias da sala.

Tabela 11 Imagens na parede e porta.

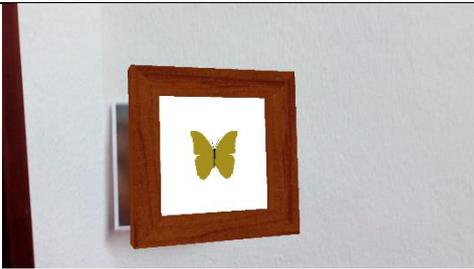
Imagem Original	Imagem depois de ser aumentada
	
	

Tabela 12 Imagens nos quadros.

Imagem Original	Imagem depois de ser aumentada
	
	
	
	
	

Tabela 13 Imagens na mesa e mesa de apoio.

Imagem Original	Imagem depois de ser aumentada
	
	
	

Tabela 14 Imagem no topo da escadaria.

Imagem Original	Imagem depois de ser aumentada
	

Para a realização da experiência desenvolveu-se uma aplicação de AR móvel. Tornando possível que o utilizador usufrua dos conteúdos aumentados e, ao mesmo tempo, utilizar as MARS, por um determinado período de tempo, formulando uma sólida opinião em relação a cada protótipo testado.

A aplicação foi desenvolvida, à semelhança das aplicações utilizadas para os testes de performance, recorrendo-se ao Unity 3D e ao Metaio SDK. A técnica de *tracking* utilizada foi baseada no reconhecimento de imagens, na qual, na aplicação estava presente um ficheiro de configuração, com a indicação das imagens que o algoritmo deveria procurar no mundo real, enquanto, no Unity 3D era realizada a associação entre cada imagem, com um objeto tridimensional a apresentar. As imagens utilizadas na experiência, para a realização da ação de *tracking*, foram selecionadas devido ao elevado número de *features* que o Metaio SDK conseguia detetar. Para se aferir a viabilidade das imagens, estas foram previamente introduzidas no *software* Metaio Creator, que possibilita a criação de aplicações de AR de uma forma expedita. Contudo, este apenas foi utilizado na classificação das imagens e auxílio à criação do ficheiro de configuração a utilizar na aplicação. Em testes preliminares as marcas eram reconhecidas a 80 centímetros de distância, ou seja, uma distância razoavelmente boa, que possibilitava alguma liberdade de navegação ao utilizador.

5.1.2 Procedimento

O percurso a realizar na experiência foi o mesmo para cada utilizador, no entanto, a ordem de utilização das MARS foi aleatória de teste para teste. Cada utilizador testou no mínimo uma MARS mais imersiva e outra menos imersiva, havendo casos em que os utilizadores testaram todas as MARS.

Assim sendo, em primeiro lugar, após a leitura e concordância com a folha de consentimento e preenchimento de um questionário genérico, era realizada uma breve explicação sobre o que era a AR e outros termos relativos a este tema. Em seguida referiu-se o funcionamento da aplicação, realizando-se uma pequena demonstração de como se realizava o processo de *tracking*.

Posteriormente, já com o protótipo devidamente instalado, foi dada ao utilizador a oportunidade de se ambientar à unidade móvel, através de movimentação pela sala. No que toca às tarefas a realizar, era dada a indicação para começar por visualizar os conteúdos expostos na vertical (colocados nas paredes e quadros), referentes a quadros com imagens de borboletas. Em seguida pediu-se ao utilizador para se dirigir a duas mesas onde estavam presentes mais imagens, para a realização de *tracking*, como se pode ver na Figura 44. Por fim, pediu-se que este subisse uma escadaria da sala, e que realizasse *tracking*, a fim de visualizar o conteúdo aumentado sobre uma imagem presente no topo dessa escadaria Figura 42 (B). O utilizador não estava limitado em termos de tempo podendo passar para a visualização do quadro seguinte assim que o desejasse. Durante a realização da experiência foram retiradas observações sobre o comportamento do utilizador, nomeadamente a facilidade em se ambientar à experiência; se sentiu alguma indisposição; se existiram dificuldades de movimentação; grau de facilidade na realização das tarefas; e observações ou comentários pronunciados pelo utilizador durante a experiência.



Figura 44 Imagens para *tracking* nas mesas.

Após a utilização de cada MARS, o utilizador preenche um questionário referente à imersividade, visualização, conforto e áreas de aplicabilidade da MARS testada. Existia ainda espaço para o utilizador redigir observações sobre o protótipo ou sobre a experiência.

5.1.3 Constituição do questionário

Para que se colhesse a opinião e resultados das várias variáveis que se pretendiam analisar com a realização da experiência, os participantes responderam a um questionário, presente no Anexo A, este estava dividido em quatro partes distintas. Antes do início da experiência, era preenchido um questionário genérico, relativo a dados pessoais como a idade, género, profissão, habilitações académicas, área de formação e a utilização de óculos ou lentes de contacto. Nesse mesmo questionário, o participante foi questionado quanto à sua experiência com computadores, *smartphones* e *tablets*, bem como, os sistemas operativos com que tem uma maior experiência de utilização. Por fim, o participante foi questionado quanto ao contacto com experiências de realidade aumentada e realidade virtual.

Após o término da experiência com cada um dos protótipos, os participantes respondiam a um segundo questionário, dividido em três partes. A primeira parte continha questões relativas à sensação de presença e imersão sentida pelo participante, sendo algumas delas baseadas no questionário apresentado no artigo “Measuring Presence in Virtual Environments: A Presence Questionnaire” (Witmer & Singer, 1998), existindo ainda algumas questões referentes à qualidade da visualização e satisfação com a experiência. Foi utilizada uma escala de Likert, de um a cinco, em que um significava discordo completamente e cinco concordo completamente. Optou-se pela utilização de uma escala ímpar, dando a possibilidade ao participante de ter uma opinião neutra.

Na segunda parte do questionário são apresentadas questões relativas ao conforto que o participante sentiu durante a realização da experiência com o protótipo em questão, onde é questionado: quando à sua facilidade de integração no ambiente da experiência; se sentiu dificuldades de movimentação durante a experiência; se achou que as tarefas propostas eram de fácil execução; como este classifica o peso do protótipo testado e, caso o achasse pesado, para assinalar as zonas onde sentiu o peso mais incomodativo. Estas zonas são relativas às partes do corpo que as várias MARS podem afetar, por exemplo os ombros ou costas quando a esta é transportada numa mochila. As restantes zonas são a cabeça, o dorso nasal, os braços e as pernas e se achou a experiência cansativa. Foi ainda incluída uma questão para indagar se o participante

teve algum tipo de indisposição durante a experiência, a qual foi baseada no questionário apresentado em “Simulator Sickness Questionnaire” (Kennedy et al., 1993).

Na terceira parte, o participante é questionado sobre as áreas de aplicação onde o protótipo que testou terá um maior potencial de utilização. As categorias selecionadas para esta questão dizem respeito a áreas em que a realidade aumentada tem aplicabilidade, estas foram indicadas com base no *survey* de (Papagiannakis et al., 2008), existe ainda espaço para observações que o utilizador possa ter a fazer em relação à experiência ou ao protótipo testado.

5.1.4 Caracterização da amostra

Para avaliação do sistema foi utilizado o inquérito já descrito anteriormente. Foram efetuados testes às várias unidades móveis com uma população de 35 indivíduos, de forma a tirar conclusões, se os protótipos propostos são confortáveis e imersivos para o uso em aplicações de AR móvel.

Dos indivíduos que constituíram a avaliação, 30 eram do género masculino e 5 do género feminino. A maioria da população, 26 indivíduos, era estudante com habilitações académicas correspondentes ao Ensino Superior ou Ensino Secundário. Para além da população estudante estiveram presentes 6 investigadores, 1 engenheiro informático, 1 professor e 1 programador. A área de formação da maioria dos sujeitos assenta na área científico-tecnológica. Quanto às idades da amostra, a maioria da idade dos indivíduos situava-se entre os 20 e 30 anos, o utilizador mais novo a realizar esta experiência tinha 18 anos e o utilizador com maior idade tinha 41 anos. Quanto a problemas de visão, a maioria, 22 utilizadores, reportou ter a sua visão corrigida para o normal através da utilização de óculos ou lentes de contacto, os restantes 13 reportaram visão normal.

Quanto ao nível de experiência com computadores, a maioria dos sujeitos tinham um nível avançado de experiência na utilização destes dispositivos. Estes resultados eram espectáveis, pois a maior parte dos utilizadores tinham formação em cursos de base tecnológica e têm que lidar com este tipo de dispositivo grande parte do seu tempo.

Quanto ao nível de experiência com dispositivos móveis os resultados demonstram-se satisfatórios. Tanto com *smartphones* como com *tablets*, os utilizadores reportaram ter experiência na utilização destes dispositivos sendo que o sistema operativo Android era o mais utilizado. Noutra face, apenas 2 indivíduos reportaram não ter experiência com *smartphones* nem *tablets*, havendo 6 indivíduos que assinalaram não possuir experiência na utilização de *tablets*.

A maioria da amostra já tivera contacto com aplicações de VR. Quanto ao contacto com aplicações ou experiências de AR o número de utilizadores era menor mas cerca de metade dos utilizadores tinham vivenciado experiências de AR. De notar que 6 indivíduos nunca tiveram contacto nem com realidade virtual, nem com realidade aumentada.

5.1.5 Resultados

A realização da experiência e o consequente preenchimento de questionários por parte dos utilizadores permitiu o fornecimento de dados importantes para a comparação entre as várias unidades móveis propostas. No Anexo A estão disponíveis, em forma de gráfico, os resultados dos questionários com maior detalhe.

A realização da experiência para cada participante, na sua totalidade, durou, em média, aproximadamente 15 minutos. Existiram utilizadores que utilizaram mais que dois protótipos. No total foram realizados 88 testes nas diferentes unidades móveis. Com cada protótipo foram realizados 22 testes, contudo, com a MARS *tablet Windows*, apenas foram realizados 3 testes, a impossibilidade de realização de um maior número de testes deveu-se ao surgimento de problemas técnicos relativos ao *hardware* do protótipo durante a realização da experiência, portanto, os dados relativos a este protótipo foram descartados

Quanto aos resultados obtidos, no que toca ao envolvimento e fluidez do sistema estes foram bons. Começando-se por analisar as MARS do qual se esperavam mais imersividade, ou seja, pelas MARS com HMDs, baseadas no computador portátil e nos *smartglasses*.

Os utilizadores que experimentaram a MARS baseada no computador portátil referiram que durante a experiência existiu a sensação de que o conteúdo estava perfeitamente integrado no mundo real. Quanto à envolvimento apenas metade dos utilizadores se sentiram envolvidos pelo conteúdo da experiência, grande parte mostrou-se indiferente quanto a este aspeto. Já no que concerne à fluidez dos conteúdos apresentados existiram muitos utilizadores a demonstrarem-se indiferentes quanto a este tópico (45%), ainda assim, 41% reportou que a fluidez pareceu adequada. Quanto à existência de atrasos 45% dos utilizadores reportaram não sentir qualquer tipo de atraso, por outro lado, 28% referiram o contrário. Estes resultados dever-se-ão ao facto de os conteúdos deste protótipo serem apresentados com um HMD *optical see-through*, sendo que os atrasos e a fluidez apenas podem ser notados quando são apresentados os conteúdos após ter sido realizado o *tracking* com sucesso, não estando assim o participante dependente de imagens da câmara para conseguir visualizar o mundo real e poder movimentar-se livremente.

Nos *smartglasses*, a integração dos conteúdos com o mundo real levou 42% dos utilizadores a mostrar-se indiferente a este aspeto, enquanto 41% afirmou que este estava perfeitamente integrado e 17% discordaram afirmando que não obtiveram essa sensação. Estas respostas podem se dever ao facto da câmara dos *smartglasses* estar posicionada no lado direito do dispositivo causando dificuldades na realização do *tracking*. Apesar de a maioria não afirmar que os conteúdos virtuais estavam perfeitamente integrados no mundo real, 84% dos utilizadores sentiram-se envolvidos com a experiência e os conteúdos apresentados, apenas 4% dos utilizadores que testaram este protótipo discordaram com esta situação. Quanto à fluidez do protótipo, 46% dos utilizadores achou-o fluido, já 25% reportaram. Em relação a atrasos na apresentação do conteúdo virtual, neste protótipo, 38% dos utilizadores concordaram que não existiram atrasos, a mesma percentagem de utilizadores que se mostraram indiferentes perante essa afirmação.

Já na MARS baseada no *tablet* Android, grande parte dos utilizadores, 82%, afirmaram que o conteúdo virtual pareceu perfeitamente integrado no mundo real. Apenas 4% dos utilizadores que testaram este protótipo reportaram o contrário. Os utilizadores sentiram-se envolvidos com o conteúdo que a experiência lhes proporcionou. Quanto ao desempenho deste protótipo, 82% concordaram que o sistema possuía uma fluidez adequada no seu funcionamento. A maioria dos utilizadores, 72%, reportou que os conteúdos apresentados não sofriam de qualquer atraso.

Os utilizadores que utilizaram o *smartphone* demonstraram grande envolvimento com a experiência onde a 82% deles o conteúdo pareceu perfeitamente integrado no mundo real. Quanto ao sentimento de envolvimento na experiência, os resultados são semelhantes, com a diferença de existir um utilizador que não se sentiu envolvido, apesar disso, 78% dos utilizadores sentiram-se envolvidos com o conteúdo da experiência. Sobre a fluidez do sistema, 64% utilizadores acharam que este tinha um bom desempenho, apenas 14% que afirmaram o contrário. Quanto à existência de atrasos entre o conteúdo apresentado e o mundo real, apenas 14% dos utilizadores reportaram existir atrasos, enquanto 68% afirmaram não existirem quaisquer atrasos de grande expressão para a experiência e 18% mostrou-se indiferente quanto a este aspecto.

Numa comparação entre todos os protótipos, a imersão por parte dos utilizadores foi notória em todos eles, curiosamente, um dos protótipos mais imersivos, o protótipo com o computador portátil, obteve a percentagem mais baixa de utilizadores que se sentiram imersos no ambiente da experiência com o uso deste protótipo, 41%, segue-se os *smartglasses* com 55%, o *smartphone* com 68% e o *tablet* Android com 69%. Estes resultados dever-se-ão ao facto de as unidades móveis com HMDs, computador portátil e *smartglasses*, terem monitores *optical see-through* não criando assim um cenário mais imersivo ao utilizador, estando este apenas a visualizar os conteúdos aumentados sobre o mundo real.

Os indivíduos, durante a realização da experiência, estiveram focados na realização da mesma, pois a maior parte reportou que prestou mais atenção ao ambiente proporcionado pela experiência do que ao contexto exterior a esta.

Quanto à satisfação dos utilizadores na utilização dos protótipos pode-se aferir que a MARS que mais satisfaz os utilizadores foi o *smartphone*, uma vez que, 77% dos utilizadores afirmou que gostariam que a experiência tivesse continuado com este protótipo, a unidade móvel baseada no *tablet* Android também obteve bons resultados, com uma percentagem 74% dos utilizadores a afirmar que gostariam que a experiência tivesse continuado. Já os resultados das MARS com HMDs foi de 55% para o computador portátil e de 63% para os *smartglasses*.

Quando confrontados sobre a qualidade do conteúdo visualizado, no geral, esta foi boa em todos os protótipos. A MARS em que, segundo 91% dos utilizadores, o conteúdo pareceu ter mais qualidade foi o *tablet* Android, talvez pelas dimensões do seu ecrã e poder ser visualizado o conteúdo aumentado com maior pormenor. Segue-se o *smartphone* com 77% dos utilizadores a apreciarem da qualidade do conteúdo visualizado e apenas 5% a referir não ter gostado. Nos *smartglasses* 75% de utilizadores que gostaram da qualidade dos conteúdos, contudo 13% dos utilizadores acharam que este não era satisfatório. Já o protótipo baseado no computador portátil este teve uma percentagem de 59% de utilizadores que acharam satisfatório o conteúdo visualizado, todavia, 18% acharam que os conteúdos visualizados não eram satisfatórios.

A segunda parte do questionário estava destinada ao conforto sentido pelos utilizadores, onde estes eram questionados em aspetos como a facilidade de movimentação e execução das tarefas propostas, como consideram o peso dos protótipos, quais as zonas corporais onde sentiram mais desconforto e se sentiram algum tipo de indisposição durante a experiência. Quanto à movimentação com as unidades móveis, no geral, os utilizadores não tiveram dificuldade de movimentação, excetuando a MARS computador portátil, onde 9 pessoas sentiram uma limitação nos seus movimentos naturais, devendo-se talvez ao facto desta MARS estar montada numa mochila e existirem cabos que vão desde esta até ao HMD, durante o realizar da experiência existiram utilizadores, que durante a experiência, colocaram uma das mãos no HMD para que este não escorregasse no nariz ou caísse. Quanto à MARS *tablet* Android, não existiram utilizadores a reportar dificuldades de movimentação, já para o *smartphone* e *smartglasses* existiu um e dois utilizadores, respetivamente, a afirmar que tiveram problemas de movimentação durante a realização da experiência.

Dos 88 testes realizados nas quatro unidades móveis apenas em três deles os utilizadores acharam a experiência cansativa, destes, dois utilizadores sentiram-se cansados com o protótipo baseado no computador portátil e um com o *tablet* Android.

No que concerne à ambientação à experiência, ou seja, como o utilizador aferiu que se integrou no contexto desta, de forma geral, a maioria dos utilizadores classificou como fácil ou muito fácil a sua ambientação à experiência. Sendo a MARS com melhores resultados o *smartphone*, em que, a totalidade da amostra que utilizou este dispositivo considerou a ambientação à experiência muito fácil (77%) e fácil (23%), seguindo-se depois as MARS *tablet* Android e *smartglasses* onde nenhum utilizador classificou a ambientação como difícil. Já a unidade móvel baseada num computador portátil, onde a maior parte dos utilizadores, 43%,

consideraram a ambientação muito fácil, contudo, esta unidade móvel, ao contrário das restantes, obteve resultados negativos com 3 utilizadores a reportarem que foi difícil ou muito difícil se ambientar à experiência com esta unidade móvel. No geral a ambientação à experiência em todas as unidades móveis foi fácil para os utilizadores, contudo foi notória uma melhor classificação nas MARS que não possuíam HMDs, por serem baseadas em dispositivos com os utilizadores já estão familiarizados, no gráfico da Figura 45 estão presentes os resultados desta questão.

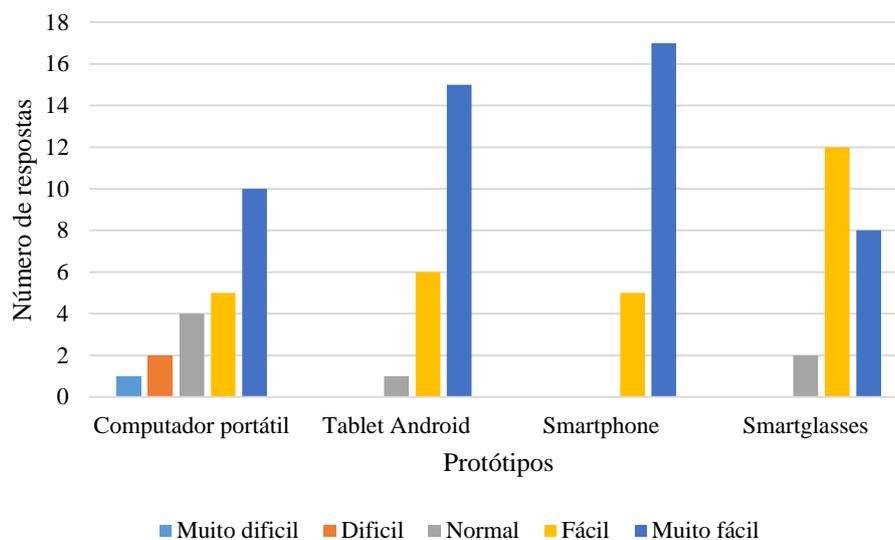


Figura 45 Classificação da ambientação à experiência.

Em relação à facilidade de execução das tarefas em cada unidade móvel, está presente na Figura 46 um gráfico com os resultados desta questão em cada protótipo, entre muito fácil a muito difícil, que cada utilizador reportou para cada unidade móvel. No geral, todas as unidades móveis foram classificadas, na sua maioria, como dispositivos de fácil execução para as tarefas pedidas. Sendo o *smartphone* a unidade móvel que teve uma percentagem mais elevada com 86% dos utilizadores a considerar este dispositivo de fácil utilização para as tarefas propostas. Já o computador portátil foi o único dispositivo a obter uma classificação desfavorável, havendo apenas um utilizador a reportar que a execução das tarefas com este protótipo foi difícil.

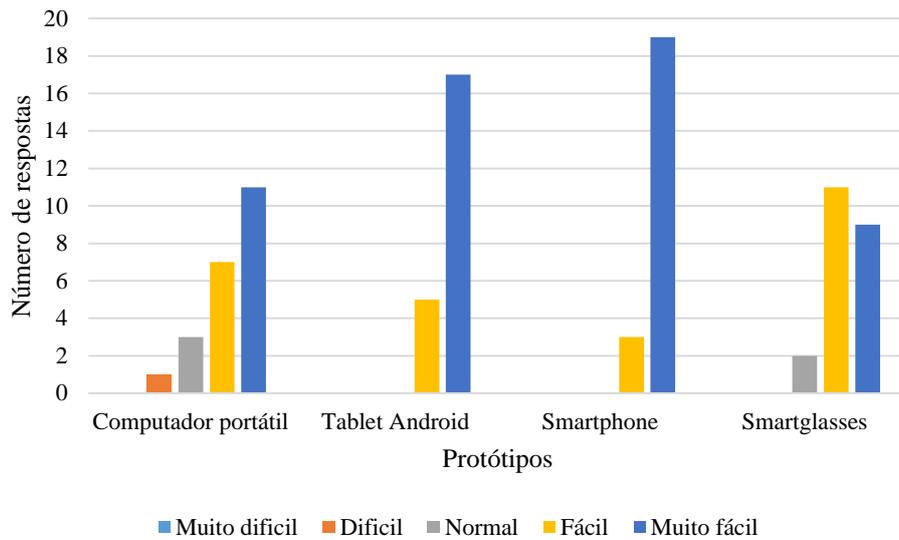


Figura 46 Facilidade de execução das tarefas propostas em cada unidade móvel.

Quanto à classificação do peso, os sujeitos, reportaram numa classificação entre muito leve a muito pesado, o que sentiram em relação ao peso das MARS testadas, o número de respostas obtidas pode ser visualizado na Figura 47. A unidade móvel considerada por um maior número de utilizadores como muito leve foi o *smartphone*, com 64% dos indivíduos a reportarem esta resposta. Em seguida, surge o *tablet Android* e os *smartglasses* com resultados positivamente semelhantes, com 61% e 59% dos utilizadores a reportarem que estes dispositivos eram leves ou muito leves respetivamente. Nos *smartglasses*, existiram cinco utilizadores a reportarem este dispositivo como pesado ou muito pesado, devendo-se ao facto de alguns utilizadores assinalaram que este dispositivo é um pouco pesado/desconfortável na zona do nariz. Já a unidade móvel baseada no computador portátil teve resultados menos satisfatórios havendo 46% dos utilizadores a considerar esta MARS como pesada ou muito pesada. Apenas quatro utilizadores a consideraram leve (18%) e os restantes 36% com peso normal. Os resultados obtidos nesta questão, curiosamente, seguem a mesma ordem de peso real de cada protótipo.

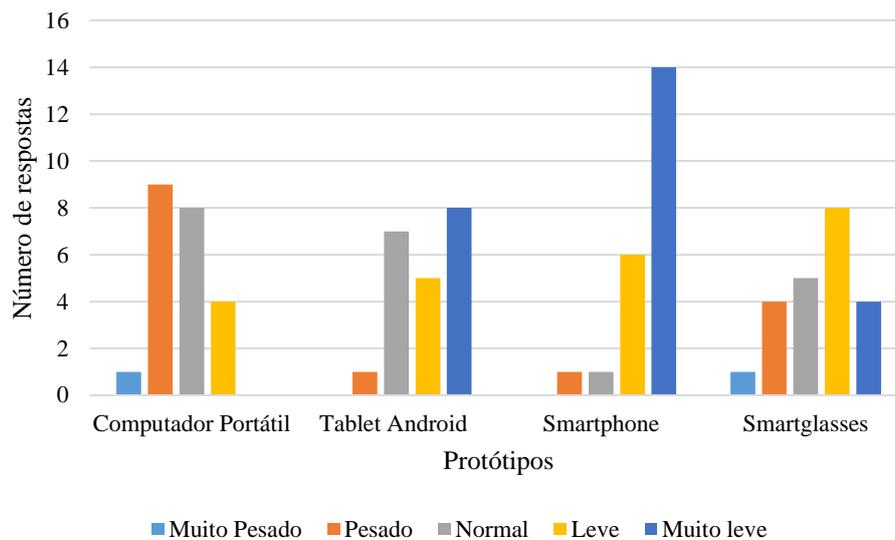


Figura 47 Classificação do peso dos protótipos.

Em relação a indisposições sentidas durante a realização da experiência, existiram utilizadores que tiveram indisposições como tonturas, cansaço visual, desequilíbrio e visão turva. Apenas com o *smartphone* não foi reportado nenhum tipo de indisposição. Do uso da MARS computador portátil resultaram quatro indisposições em utilizadores, como cansaço visual, desequilíbrio ou visão turva, isto terá sido devido à qualidade do componente de visualização que limita também um pouco o campo de visão do utilizador. Os *smartglasses* causaram indisposições como tonturas, cansaço visual e visão turva a quatro indivíduos que realizaram a experiência com este protótipo. O *tablet* Android apenas causou visão turva a um utilizador, talvez pelo facto de este ter utilizado o dispositivo muito próximo aos seus olhos durante a realização da experiência. Estes resultados podem ser visualizados na Figura 48. Nenhum utilizador reportou sentir dores de cabeça ou enjoos durante a realização da experiência.

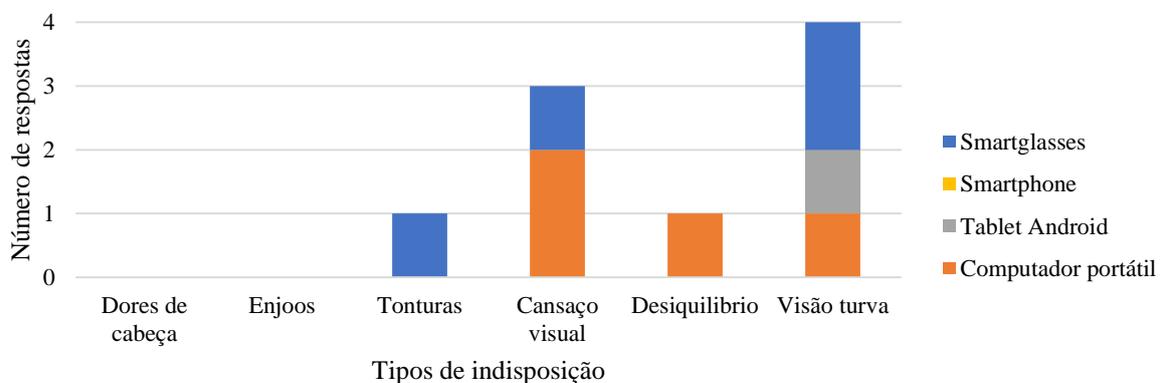


Figura 48 Tipos de indisposição reportados pelos utilizadores em cada MARS.

As zonas em que os utilizadores sentiram peso ou desconforto, em cada unidade móvel, são apresentadas na Figura 49. Pode-se aferir que as unidades móveis que trouxeram mais desconforto aos utilizadores foram as que possuíam HMDs como componente de visualização, ou seja o computador portátil e os smartglasses. Relativamente ao protótipo baseado num computador portátil como componente de processamento, 13 utilizadores reportaram sentir desconforto no dorso nasal e 12 na zona dos ombros e costas, existindo ainda 3 utilizadores que reportaram desconforto ou peso excessivo na zona da cabeça e um utilizador queixando-se de peso excessivo nos braços, talvez devendo-se ao facto de o componente de visualização não ter o peso bem distribuído e, para que este não caísse da cabeça do utilizador, estes optavam por segurar com um dos braços. Já os *smartglasses* tiveram menos razões de queixa por parte dos utilizadores, contudo, 12 utilizadores reportaram sentir peso na zona do dorso nasal, 2 utilizadores na zona da cabeça e apenas um utilizador na zona das costas e ombros e outro nos braços. Em relação às unidades móveis baseadas no *tablet* Android e no *smartphone*, o *tablet* Android obteve 8 queixas, 4 relativas a peso ou desconforto nas zonas ombros e costas e 4 em relação aos braços. Estes resultados dever-se-ão ao facto de os utilizadores terem de andar com o braço esticado para posicionarem o protótipo em frente aos seus olhos para conseguirem visualizar convenientemente o conteúdo aumentado. O que pode causar algum mau estar ao fim de algum tempo sem períodos de descanso. Já a unidade móvel baseada no *smartphone* foi a que obteve o menor número de queixas, visto que, apenas 3 utilizadores reportaram sentir desconforto na zona dos braços.

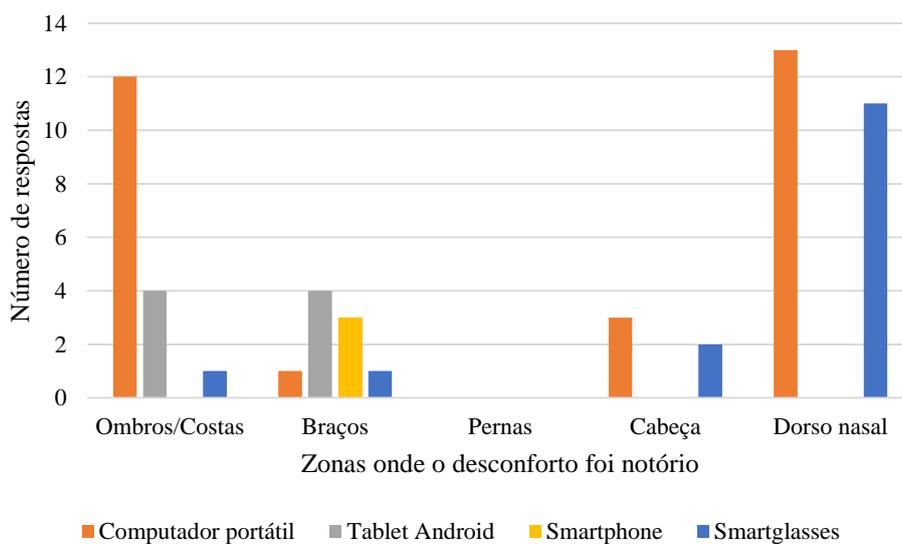


Figura 49 Zonas em que os utilizadores sentiram mais peso/desconforto.

A terceira parte do questionário tinha uma pergunta sobre em que áreas os utilizadores achavam que o protótipo que testaram poderia ser utilização, os resultados a esta questão estão disponíveis no gráfico da Figura 50, os sujeitos da amostra consideraram que a área com maior aplicabilidade em todos os dispositivos é o “Turismo”. Para o protótipo baseado no computador portátil segue-se a categoria de “Apresentação de informação” e “Entretenimento”, sendo a menos reportada a categoria “Treino e educação”. Para o *tablet* Android este foi selecionado para “Entretenimento” e “Treino e educação”, já as categorias “Auxilio na navegação” e “Montagem e manutenção” foram as duas menos reportadas para esta unidade móvel. Quanto ao *smartphone* a categoria menos votada foi “Auxilio na navegação”, já as outras categorias estão bastante equilibradas diferindo com mais um ou menos um utilizador entre elas. Já os *smartglasses* são vistos como um bom dispositivo para utilização nas categorias de “Entretenimento”, “Apresentação de informação” e “Montagem e manutenção”, enquanto, a categoria “Treino e educação”, à semelhança do computador portátil, foi a menos reportada entre os utilizadores que testaram esta unidade móvel.

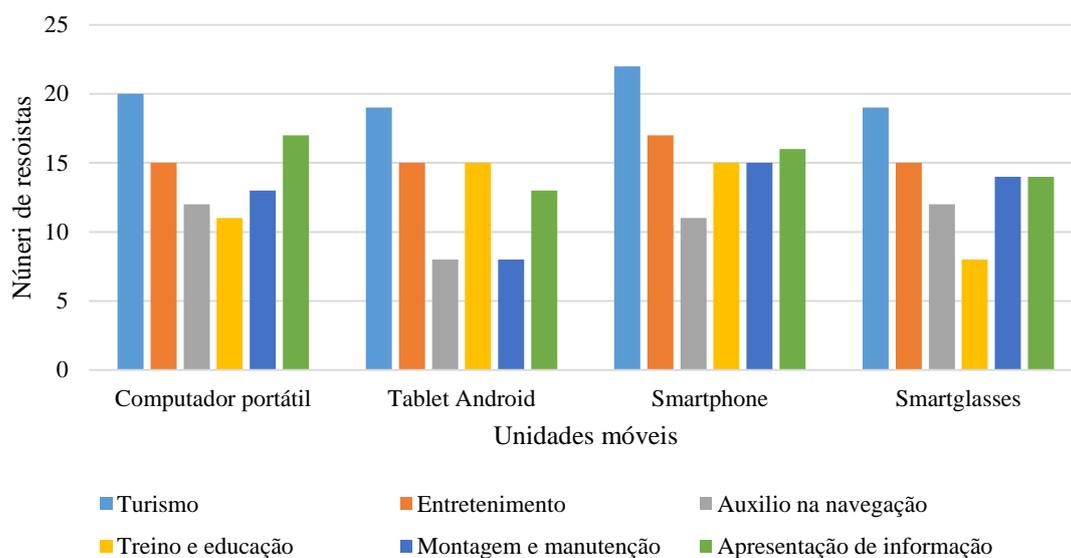


Figura 50 Áreas de aplicabilidade das unidades móveis.

Com os resultados obtidos pode-se afirmar que os utilizadores gostaram de todas as unidades móveis, contudo a satisfação foi maior nos protótipos que não utilizavam HMDs. O *smartphone* e *tablet* Android tiveram uma maior aceitação por parte dos utilizadores pois grande parte dos utilizadores está habituado a utilizar estes dispositivos no seu dia-a-dia facilitando a adaptação aos mesmos, também como se viam as imagens captadas pelas câmaras com o conteúdo virtual sobre estas os utilizadores tinham uma maior sensação de envolvimento com a experiência tornando a tarefa de *tracking* mais fácil. Contudo as MARS baseadas no computador portátil e nos *smartglasses* forneciam uma experiência mais próxima da realidade pois a abordagem para visualização era *optical see-through* e o posicionamento dos monitores em forma de HMD o que possibilitava uma interação mais natural, contudo na MARS computador portátil existiram utilizadores com dificuldades de movimentação na última parte da experiência onde era requerida a subida de uma escadaria para fazer *tracking* pois alguns utilizadores demoraram mais tempo a subir ou optaram por retirar o HMD e voltar a colocá-los no local de realização do *tracking*. Os *smartglasses* tinham a câmara posicionada no lado direito do HMD levando a que alguns utilizadores sentissem dificuldades na realização do *tracking*. Os tipos de indisposições sentidos foram normais pois estavam relacionados com a visualização das MARS computador portátil e *smartglasses*. O mesmo sucedeu com as zonas onde foi sentido um maior desconforto.

5.2 Testes em contexto *outdoor*

Com a realização destes testes pretendeu-se avaliar os protótipos propostos, relativamente ao conforto, satisfação e imersão, num contexto com condições de iluminação não controladas, neste caso num ambiente exterior. Esta secção começa por apresentar o projeto MixAR, no âmbito do qual foi realizada esta experiência. De seguida é definido o desenho experimental dos testes realizados, o procedimento seguido, o cenário utilizado e as aplicações desenvolvidas. Por último, são apresentados e discutidos os resultados obtidos.

5.2.1 Projeto MixAR

O projeto MixAR é um projeto de investigação que tem como principal objetivo realizar o desenvolvimento de um sistema de MR para visualização, no local, de reconstruções virtuais de sítios arqueológicos integradas na cena real, dando assim, uma perceção mais real e contextualizada deste tipo de locais. Assim é possível aumentar a sensação de imersão do utilizador na cena de MR e proporcionar uma melhor experiência quase semelhante à vivência na época histórica em causa, como se de uma viagem no tempo se tratasse. A ligação do projeto MixAR com este trabalho deve-se ao facto da utilização de protótipos propostos neste trabalho numa experiência, os resultados dessa experiência são analisados neste trabalho numa perspetiva dos protótipos utilizados. A criação de alguns dos protótipos propostos neste trabalho só foi possível devido à utilização de material pertencente ao projeto MixAR, nomeadamente, os HMDs, recetores de coordenadas GPS e alguns dos dispositivos de processamento.

No âmbito do projeto, foi definida uma nova metodologia para gerir o nível de mistura do conteúdo real e virtual a apresentar, identificando-se, em cada instante, o tipo de abordagem a usar (AR ou AV). Quando o utilizador se encontra no exterior dos edifícios (cena exterior) é seguida uma abordagem de AR, onde prevalece o mundo real. Se o utilizador se move para o interior de um edifício ou para uma zona classificada como tal (uma cena interior) é transportado para o modo de AV.

No contexto deste projeto foi desenvolvido um sistema de MR móvel que segue uma arquitetura cliente-servidor, a qual se encontra apresentada e documentada no artigo “*Proposal of an Information System for an Adaptive Mixed Reality System for Archaeological Sites*” (Magalhaes et al., 2014). O servidor funciona como um repositório dos conteúdos a utilizar na aplicação cliente, como configurações e modelos virtuais, estando ainda presente um Sistema de Informação Geográfica (Geographical Information System, GIS) para a identificação dos locais

e associação dos mesmos a vários ficheiros. A aplicação cliente é responsável pela aquisição pela gestão da cena de MR, desde a transferência dos ficheiros que se encontram do lado do servidor, à obtenção da posição e orientação do utilizador.

5.2.2 Desenho experimental

No âmbito do projeto MixAR foram realizados testes junto de utilizadores, os quais tinham como objetivo a avaliação da aplicação desenvolvida e das MARS utilizadas. Contudo, para este documento a análise aos resultados centrar-se-á na avaliação das MARS no exterior aferindo-se de que modo a iluminação afeta a experiência de AR. Para a realização da experiência utilizou-se a aplicação de MR criada no âmbito do projeto MixAR. A aplicação possibilita a movimentação do utilizador num determinado espaço e apresenta modelos virtuais após a realização bem-sucedida do *tracking*. Esta está implementada tanto para unidades móveis de AR imersivas, baseadas em *head mounted displays* (HMD), como para unidades móveis de AR menos imersivas, como *tablets* e *smartphones*.

5.2.2.1 Cenário

O cenário utilizado para a realização dos testes foi a zona de Vila Velha, em Vila Real. Sendo esta zona um local de interesse para turistas, uma vez que se trata da parte mais antiga desta cidade, onde Vila Real teve a sua origem. Neste local está presente um cemitério com uma Igreja, a Igreja de S. Dinis e um museu, o Museu da Vila Velha. Este museu surgiu na sequência de escavações arqueológicas levadas a cabo nos últimos anos em Vila Velha. Dessas escavações resultou algum espólio que está presente numa exposição de longa duração do museu, e ainda, no seu exterior, vestígios e ruínas referentes às antigas portas da cidade e da sua muralha. A Figura 51 apresenta uma visão do local selecionado.



Figura 51 Local que serviu de cenário à experiência.

Para a realização dos testes foram selecionadas três zonas diferentes, assinaladas na Figura 51. Nestas três zonas estão presentes características que se consideraram ser relevantes para a realização da experiência e obtenção de dados significativos. Foi selecionada uma pequena Capela junto ao museu, que está assinalada com a letra A na Figura 51 e pode ser visualizada na Figura 52 (A). Devido à natureza do projeto foram selecionadas ruínas referentes às antigas portas da cidade, ponto B da Figura 51, podendo ser observadas na Figura 52 (B). O terceiro local escolhido trata-se de uma parede junto a uma habitação Figura 52 (C), estando indicada a sua localização na Figura 51 com a letra C.



Figura 52 Locais escolhidos para a colocação de edifícios virtuais. (A) Capela junto ao Museu da Vila Velha (B) Ruínas das portas da cidade (C) Parede texturizada.

5.2.2.2 Configuração

A utilização da aplicação desenvolvida no âmbito do projeto MixAR obrigou à execução de algumas tarefas prévias, tendo em vista a criação de um ficheiro de configuração, a criação de um GIS e dos modelos 3D usados na experiência.

Inicialmente foi realizada a georreferenciação das três áreas de teste e incluídas no GIS usando a aplicação GIS MixAR. Na Figura 53 é apresentado um *screenshot* do GIS MixAR, onde pode-se visualizar a georreferenciação dos locais (retângulos a azul), as circunferências vermelhas referem-se à identificação das zonas com diferentes níveis de detalhe dos modelos virtuais dos edifícios.



Figura 53 Interface do GIS MixAR com elementos georreferenciados.

Num segundo passo foram gerados três edifícios no modelador de geração procedimental de edifícios (Adão et al., 2014), apresentados na Figura 54, um para cada elemento referenciado, posteriormente, utilizando o mapa do GIS MixAR, realizaram-se ajustes de escala, posição e rotação aos modelos previamente gerados, sendo em seguida enviados para o servidor.



Figura 54 Modelos gerados para utilização na experiência.

Para a configuração do *tracking*, foi necessária a criação de três configurações distintas devido às diferenças entre cada local selecionado (apresentados anteriormente na Figura 52). Para a tarefa de *tracking* duas técnicas distintas foram utilizadas. No local A (capela junto ao museu) utilizou-se a técnica de *tracking* "hybrid CAD model tracking" e nos locais B e C (ruína das portas da cidade e parede texturizada, respetivamente) a técnica "3D maps".

A técnica de *tracking* "hybrid CAD model tracking" é indicada para cenas/objetos que tenham pouca textura e que possuam arestas bem visíveis, tal como é o caso do local A (Figura 52 (a)). Devido à natureza desta técnica ser baseada em modelos foi necessária a criação de um conjunto de modelos 3D com informação sobre a estrutura presente no local. Sendo eles um modelo de arestas, de superfície e de ajuda visual, apresentados na Figura 55.

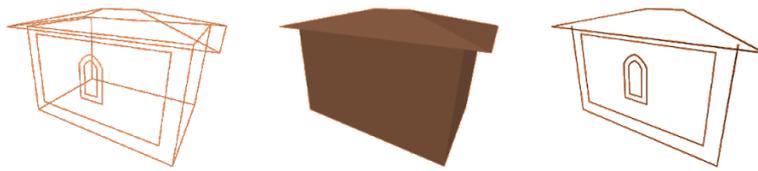


Figura 55 Modelo de arestas, superfície e ajuda visual criado para o local A.

O modelo de arestas é utilizado para encontrar a pose de câmara correta ao tentar alinhá-lo com as arestas encontradas na imagem. O modelo de superfície determina as linhas visíveis do modelo de arestas, devido à possível oclusão das mesmas pelo próprio modelo. Nesta implementação da técnica, a inicialização é efetuada manualmente. Uma pose inicial é definida num ficheiro de configuração o que torna necessário um modelo de ajuda visual. Este último atua como um guia para o utilizador encontrar a pose inicial correta do modelo, conforme definido no ficheiro de configuração referido.

Para os locais B e C recorreu-se à utilização de uma outra técnica de *tracking* denominada de "3D maps". O motivo deveu-se a ambos os locais possuírem um elevado número de arestas assim como um alto nível de textura, o que pode causar uma falsa deteção de arestas, e consequentemente, uma não/errada deteção da pose quando utilizada a mesma técnica do local A. Semelhante à técnica de *tracking* utilizada no ponto A, a técnica "3D maps" requer que se adquira informação sobre o objeto/cena numa fase prévia ao *tracking*, no entanto, ao invés de modelos 3D esta requer que se adquira um mapa de pontos tridimensional do local. Tal é possível através da aplicação Metaio Toolbox, disponível para Android e iOS. A diferença é que ao invés de utilizar características, como arestas, esta recolhe determinados pontos tridimensionais com base na sua textura. A junção de todos os pontos representa o mapa 3D que é utilizado na fase *online* do *tracking* para determinar a pose da ruína/estrutura, para este caso.

Após a criação das configurações de *tracking* estas foram colocadas no servidor para que a aplicação cliente posteriormente estar habilitada a transferir as configurações de *tracking* em conjunto com os modelos tridimensionais dos edifícios. A aplicação cliente do projeto MixAR foi desenvolvida, à semelhança várias aplicações apresentadas neste documento, através do Unity 3D em conjunto com o Metaio SDK. Esta suporta vários tipos de sensores, como sensores inerciais, recetores de coordenadas GPS e câmaras, tanto no sistema operativo Windows como Android, foi ainda construída uma versão que recorre a estereoscopia, realizando-se assim um efeito tridimensional, para utilização na MARS *smartphone* como HMD, na Figura 56 é apresentada a aplicação com recurso a estereoscopia.



Figura 56 Aplicação MixAR em modo estereoscópico.

Na Figura 57, são apresentados várias capturas de ecrã da aplicação MixAR em execução, na Figura 57 (A), é apresentado o modelo de linhas para realização de *tracking*. Após a realização bem-sucedida da ação de *tracking* (alinhamento do modelo de linhas com o edifício real, neste caso) é apresentado um edifício, como demonstrado na Figura 57 (B), num ambiente de AR. Após a movimentação do utilizador para o interior do edifício, sem nunca se perder a zona de *tracking*, é realizada a passagem para o interior do edifício, passando-se assim para um modo de VR como é visível na Figura 57 (C).

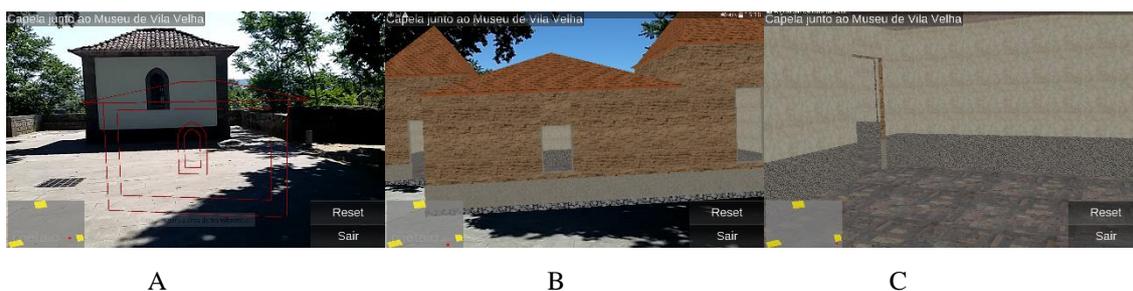


Figura 57 Aplicação MixAR: (A) modelo de linhas para a realização do *tracking* (B) exterior do edifício aumentado (C) interior de edifício aumentado.

5.2.3 Procedimento

O percurso a realizar na experiência teve a mesma ordem para cada utilizador, no entanto, a ordem de utilização das unidades móveis nem sempre foi a mesma. Cada utilizador testou no mínimo uma unidade móvel, havendo casos em que os utilizadores testaram as duas unidades móveis utilizadas na experiência que foram o *tablet* Android e o *smartphone* como HMD.

Assim sendo, em primeiro lugar, após a leitura e concordância com a folha de consentimento para a realização da experiência, foi efetuada uma breve explicação ao utilizador sobre em que consistia o projeto MixAR e explicados alguns conceitos, como o caso da AR, MR e VR. Foi ainda referido o funcionamento da aplicação, tendo-se realizado uma pequena demonstração junto ao local de início da experiência. A qualquer momento o utilizador poderia abandonar a experiência caso o desejasse. Em seguida, o utilizador respondia a um questionário genérico. Posteriormente, já com uma das unidades móveis, era iniciava a experiência.

O percurso a realizar na experiência está demonstrado na Figura 58, este iniciava-se no ponto A da Figura 51, junto à capela, seguindo-se depois para o ponto B, ou seja, para as ruínas das portas da cidade e por fim para o ponto C. Cada utilizador, durante a experiência, teve alguém a seu lado para auxílio e explicação das ações que tinha de executar no decorrer da experiência. O tempo que o utilizador permanecia em cada ponto estava ao seu critério, dando-se assim a oportunidade de este puder explorar os espaços da maneira mais conveniente possível.

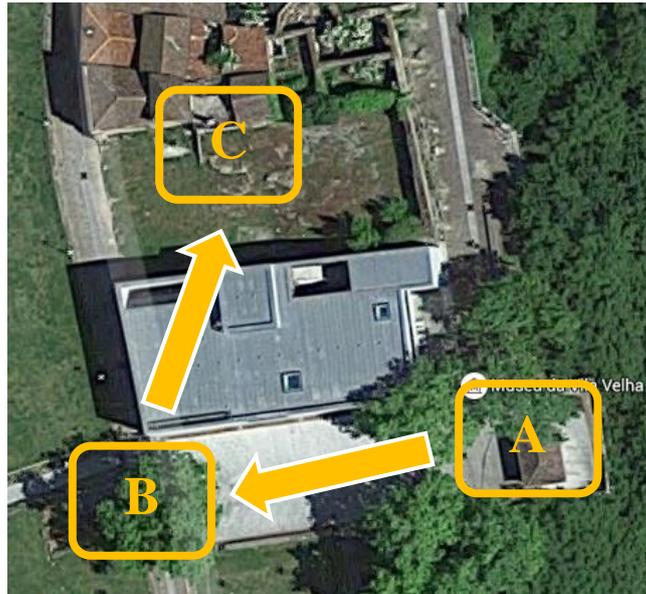


Figura 58 Percurso realizado durante a experiência.

5.2.4 Constituição do questionário de avaliação

Para a recolha dos vários tópicos a analisar nesta avaliação, dividiu-se o questionário em cinco partes distintas, este está disponível no Anexo B. A primeira parte é referente a dados do utilizador, nomeadamente: a idade, o género, utilização de óculos ou lentes de contacto, profissão, habilitações académicas, área de formação, nível de experiência com computadores, *smartphones* e *tablets*, sistemas operativos com o qual o utilizador está mais familiarizado no caso de *smartphones* e *tablets* e se já teve contacto com experiências de realidade virtual e realidade aumentada.

Nas restantes partes são apresentadas várias afirmações onde o utilizador assinala a opção que mais se aproximou com a sua vivência na experiência. Assim sendo, a segunda parte, é referente à satisfação do utilizador na realização da experiência, onde são apresentadas várias afirmações e o utilizador assinala, numa escala de Likert, de 1 a 5, a sua resposta. Este questionário foi baseado no questionário de Sumadio e Rambli (2010), que no seu trabalho avaliaram a aceitação

da realidade aumentada para uso na educação. A terceira parte refere-se a um questionário de medição de presença baseado na proposta de Witmer e Singer (1998), “Measuring Presence in Virtual Environments: A Presence Questionnaire”. Na quarta parte é apresentado um questionário referente à imersividade baseado na publicação “Measuring and defining the experience of immersion in games” de Jennett et al. (2008). Optou-se pela utilização de uma escala impar, dando-se a possibilidade do utilizador ter uma opinião neutra em relação às afirmações apresentadas. A última parte refere-se ao conforto aferido pelo utilizador durante a experiência, explorando se este teve algum tipo de indisposição durante a mesma, sendo baseado no “Simulator Sickness Questionnaire” (Kennedy et al., 1993).

5.2.5 Caracterização da amostra

Os testes foram realizados por 25 indivíduos, 17 indivíduos eram do género masculino e 8 do género feminino. A maioria da população era estudante do Ensino Superior ou Ensino Secundário. Existiam 17 indivíduos que eram estudantes, sendo os restantes no mínimo licenciados, nomeadamente, 5 investigadores, 1 médico veterinário, 1 engenheiro agrário e 1 topógrafo. A área de formação da maioria dos sujeitos assenta numa área científico-tecnológica. Os indivíduos tinham idades compreendidas entre os 17 e 32 anos de idade, sendo a maior parte, 10 indivíduos, concentrada na faixa etária dos 20 a 25 anos de idade. Dos indivíduos que compuseram a avaliação, 17 reportaram visão normal, e os restantes 8, visão corrigida com a utilização de óculos ou lentes de contacto.

Em relação ao nível de experiência com computadores, 13 indivíduos reportaram ter um bom ou avançado nível de experiência com este tipo de dispositivo. Estes resultados eram espectáveis, visto que, a maior parte da população necessita de utilizar computadores diariamente.

Quanto ao nível de experiência com dispositivos móveis os resultados demonstram-se satisfatórios. Relativamente aos *smartphones*, 19 indivíduos reportaram ter experiência na utilização deste tipo de dispositivos e a maior parte com o sistema operativo Android. Quanto à experiência com *tablets*, 19 indivíduos assinalaram possuir um bom nível de experiência com a utilização deste tipo de dispositivos. Novamente o sistema operativo Android obteve a maior percentagem de utilizadores. Por outro lado, 4 indivíduos reportaram não ter experiência qualquer um destes dois dispositivos, já outros 2 indivíduos assinalaram não possuir experiência na utilização de *tablets* e outros 2 não possuíam um bom nível de experiência na utilização de *smartphones*.

Quanto ao contacto com VR 16 utilizadores reportaram que vivenciaram esse tipo de experiência. Quanto à AR apenas 12 utilizadores assinalaram que já tiveram contacto com aplicações ou experiências deste género. De notar que, 8 indivíduos ainda não tinham experienciado qualquer contacto nem com VR, nem com AR.

5.2.6 Resultados

Nesta experiência, além do *feedback* dos utilizadores na utilização da aplicação, realizou-se uma comparação entre as duas MARS utilizadas, ou seja, uma unidade móvel mais imersiva e outra menos imersiva, analisando-se em qual das duas os utilizadores se sentiram melhor durante a experiência e perceber se a luz solar afetava a experiência. Nesta secção serão apresentados os resultados da avaliação dos utilizadores num ambiente exterior, onde inicialmente, é realizada a caracterização da amostra que compôs a avaliação e, em seguida, são apresentados os resultados.

O objetivo da realização da avaliação centrou-se na análise de duas MARS, nomeadamente um *tablet* Android e um *smartphone* como HMD, estas podem ser vistas em uso na Figura 59. Desta forma, foram ainda estudados, os resultados obtidos relativamente à satisfação, presença, imersividade e conforto fornecidos pelas MARS com a aplicação do projeto MixAR em utilização. No Anexo B estão disponíveis vários gráficos que apresentam os resultados com maior detalhe, estes estão distribuídos por MARS em cada tipo de questionário e são apresentadas as respostas dadas pelos utilizadores em cada questão.



Figura 59 Utilizadores com as MARS *smartphone* como HMD e *tablet* Android.

No que concerne aos resultados obtidos, relativamente à satisfação, de uma forma geral, os utilizadores gostaram de realizar a experiência, quer no *tablet* quer no *smartphone* como HMD. No entanto, houve um elevado número de utilizadores a reportar um maior grau de satisfação no *smartphone* como HMD, como demonstram os gráficos das Figuras Figura 68 e Figura 69 presentes no Anexo B. No *tablet* Android a afirmação “Os modelos eram apresentados de uma forma robusta (sem saltos) e fluída.” obteve uma percentagem de 48% dos utilizadores a discordarem com esta afirmação, em confronto com 10% no *smartphone* em HMD. No geral, para as duas MARS, os utilizadores gostariam e utilizariam este tipo de sistema, caso estivesse presente em museus e espaços arqueológicos, indicando que poderiam até repetir a experiência. Estes afirmaram, em ambas as MARS, terem a sensação de estarem a visitar o passado, cumprindo-se assim um dos maiores objetivos do projeto.

Relativamente aos resultados do questionário de presença estes indicam existir um elevado grau de presença no ambiente da experiência em ambos os dispositivos. Os utilizadores reportaram que se adaptaram facilmente à experiência e conseguiram-se movimentar com facilidade. Ninguém se sentiu confuso ou desorientado com o *tablet* Android, já na utilização do *smartphone* como HMD apenas um utilizador reportou sentir alguma desorientação. Alguns utilizadores reportaram que a qualidade visual não ajudou na execução das tarefas, sendo este número de 5 utilizadores no *tablet* Android e de 4 no *smartphone* em HMD. Os utilizadores sentiram-se focados na experiência, sendo capazes de observar os edifícios de vários pontos e aproximarem-se dos mesmos.

No questionário de imersividade, os resultados seguiram as respostas dos questionários anteriores, ou seja, foram positivos. Os utilizadores estiveram interessados com o desenrolar da experiência, gostaram da qualidade dos conteúdos apresentados, sentiram que a integração do conteúdo virtual no mundo real foi bem conseguida. Embora a maioria dos utilizadores tenham indicado como insuficiente o tempo de duração da experiência, mas o tempo que esta durou prendeu a atenção do utilizador, abstraindo-o das suas preocupações. A experiência para os utilizadores pareceu uma situação nova e sentiram-se motivados com o decorrer da experiência, ficando os utilizadores com a sensação que realizaram a experiência com sucesso.

Quanto ao questionário relacionado com o conforto obtido durante a experiência, os utilizadores foram questionados quanto ao cansaço ou exaustão que possam ter sentido em determinadas zonas corporais. Os resultados são apresentados na Figura 60, dos 42 testes realizados, em dez existiram utilizadores a afirmar terem cansaço, oito no *tablet* Android e dois no *smartphone* em

HMD. As zonas onde os utilizadores se sentiram cansados com a utilização do *tablet* Android foi de seis nos braços, dois nos ombros e havendo ainda um utilizador que sentiu cansaço generalizado. Quanto ao *smartphone* em modo HMD apenas um utilizador se queixou do dorso nasal e um das pernas, as queixas nas pernas deveriam ser relativas ao cansaço provocado pelo tempo que o utilizador passou em pé durante a experiência.

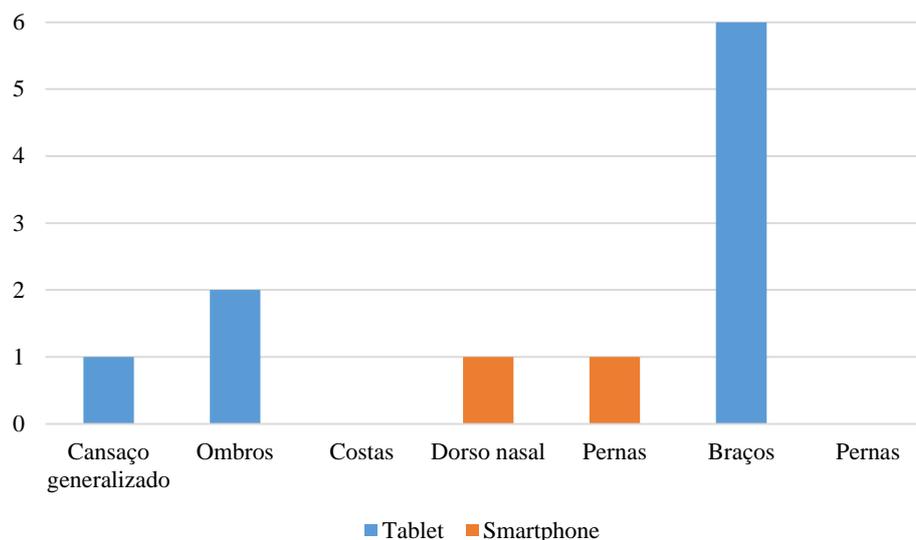


Figura 60 Zonas corporais que os utilizadores reportaram cansaço ou exaustão.

Quanto a tipos de indisposição que os utilizadores tenham sentido durante a experiência em sete testes existiram utilizadores a reportar terem sofrido algum tipo de indisposição, três foram no *tablet* Android e quatro no *smartphone* em HMD, estando estes detalhados na Figura 61. Dos utilizadores que reportaram indisposições no *tablet* Android dois reportaram desorientação, no entanto, indisposições como olhos cansados, problemas em focar a visão e problemas de concentração apenas foram reportados uma vez. Quanto ao *smartphone* em modo HMD apenas foi reportado uma vez cada uma das seguintes indisposições: vertigens, olhos cansados, problemas em focar a visão, desorientação, visão turva e problemas de concentração.

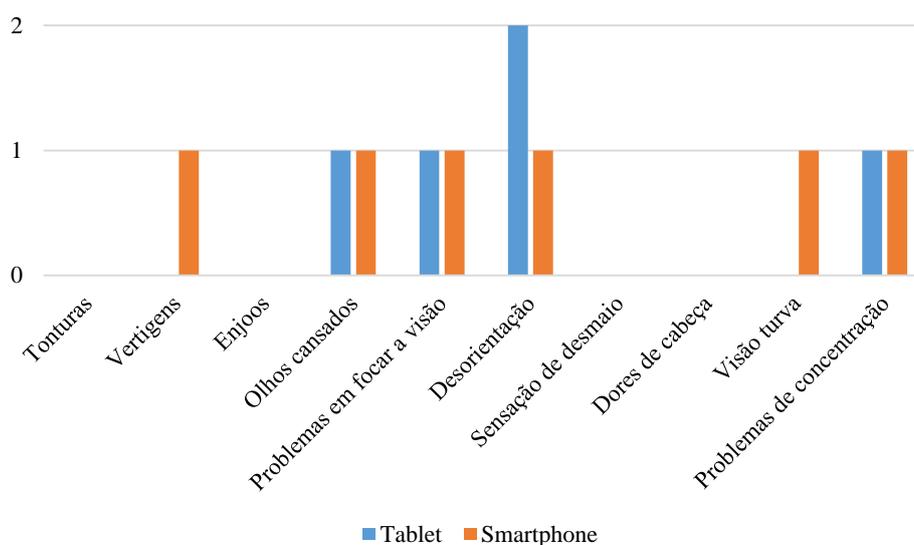


Figura 61 Tipos de indisposição reportados pelos utilizadores.

Os resultados demonstram que os utilizadores gostaram de ambas as MARS utilizadas. Contudo, mediante observações realizadas e opiniões recolhidas durante a experiência, grande parte dos utilizadores preferiram utilizar o *smartphone* como HMD. As razões apresentadas prenderam-se com a melhor qualidade de visualização, uma vez que, não existia incidência dos raios solares sobre o dispositivo; outra razão foi a questão da imersividade, pois o conteúdo visualizado parecia mais apelativo no modo estereoscópico; outro fator vantajoso é o facto de grande parte dos utilizadores nunca ter utilizado um dispositivo deste género, o que lhes trouxe um maior entusiasmo na sua utilização. No entanto este dispositivo possuía algumas desvantagens, nomeadamente, a existência de algum atraso desde que as imagens são captadas até serem apresentadas ao utilizador, devido à taxa de atualização da câmara do dispositivo e ao processamento que a aplicação necessitava de realizar; e o campo de visão que o utilizador possuía era reduzido. Estas desvantagens fizeram com que os utilizadores apenas utilizassem o dispositivo quando indicado, ou sejam, quando estavam num ponto em que iriam visualizar um edifício aumentado, não sendo este utilizado continuamente. O *tablet* Android apesar de não ser o favorito tem algumas vantagens em relação à outra MARS como o maior campo de visão, pois o seu ecrã era utilizado na sua totalidade, enquanto, na outra MARS apenas era utilizado metade do ecrã (estando a outra metade replicada para dar o efeito estereoscópico); os utilizadores conseguiam ter uma maior liberdade de navegação, pois podiam movimentar os braços para visualizarem os edifícios de vários pontos e conseguia-se utilizar a unidade móvel de forma continua por um período de tempo maior.

5.3 Características dos vários protótipos

As várias MARS propostas foram testadas por diversos utilizadores, em diferentes contextos, *indoor* e *outdoor*. No geral, os utilizadores ficaram satisfeitos com a utilização das várias MARS e com as experiências em que participaram.

No que concerne à MARS computador portátil pode-se afirmar que esta é uma MARS imersiva onde os conteúdos são visualizados de forma natural por se utilizar um HMD *optical see-through* e, como tal, o utilizador tem as suas mãos livres, portanto esta MARS torna-se ideal para aplicações de AR em que o utilizador necessite de usar as mãos como em aplicações de montagem e manutenção. Este protótipo oferece uma boa performance computacional. Porém, alguns inconvenientes surgiram durante o seu uso como é o caso de dificuldades de movimentação que alguns utilizadores reportaram, pois esta MARS possui alguns cabos que vão da mochila para a zona da cabeça e que podem, com movimentos bruscos, se desconectarem do computador; apesar de poucos utilizadores terem reportado algum tipo de indisposição existiu quem tivesse sofrido de cansaço visual, desequilíbrios e visão turva devido ao uso do HMD; o peso da MARS era de cerca de 4kg e fez-se sentir na zona dos ombros, costas devido ao peso da mochila e na cabeça e dorso nasal; a fraca visualização dos conteúdos no exterior devido à iluminação solar é outro ponto fraco desta MARS, porém esta pode ser utilizada no exterior desde que a presença de luz solar não seja muito alta.

Já a MARS baseada no *tablet* Android devido a ser baseada num dispositivo familiar aos utilizadores a adaptação às experiências foi mais fácil, a satisfação do uso desta MARS foi superior às que eram baseadas em HMDs. Este possuía um ecrã com boas dimensões que permitia uma boa visualização dos conteúdos e explorar vários ângulos através da movimentação dos braços, não existiam dificuldades de movimentação pois o utilizador conseguia ver perfeitamente o mundo real. No entanto esta MARS requer que se utilizem as duas mãos, o que limita a sua aplicabilidade e faz com que haja algum cansaço nessa zona após um uso prolongado desta MARS. A visualização dos conteúdos neste dispositivo é afetada caso exista uma incidência direta de luz sobre o seu ecrã.

Um *smartphone* é um dispositivo que grande parte dos utilizadores que realizou as experiências possuía, portanto a adaptação a esta MARS foi rápida, muitos utilizadores preferiram-na em relação ao *tablet* Android. Apesar de esta MARS ser a mais barata os utilizadores gostaram da qualidade de visualização dos conteúdos. Este sofre dos mesmos benefícios e inconvenientes

do *tablet* Android tendo um ecrã com menor dimensões o que faz com que os conteúdos apresentados não consigam ser tão bem visualizados. Este dispositivo apenas necessita do uso de uma mão para a sua correta utilização.

Os *smartglasses* trouxeram alguma curiosidade, pois é um tipo de dispositivo que grande parte dos utilizadores nunca tinha utilizado. Este dispositivo em comparação às outras MARS baseadas em HMDs provou ser mais leve e de simples interação, contudo, a sua performance não foi a melhor, por outro lado, os utilizadores não sentiram grandes atrasos na apresentação dos conteúdos por este dispositivo ser *optical see-through*, Pela natureza do seu tipo de visualização a apresentação dos conteúdos virtuais é um pouco afetada em ambientes com muita iluminação, esta situação é minimizada através da utilização de lentes escuras, semelhantes às utilizadas em óculos de sol. O posicionamento da câmara neste dispositivo não é o ideal, esta está colocada no lado direito dos *smartglasses*, isto levou alguns utilizadores a reportar que os conteúdos virtuais não estavam bem alinhados com o mundo real. Alguns utilizadores sentiram indisposições como tonturas, visão turva e cansaço visual. As zonas da cabeça e dorso nasal foram zonas em que se sentiram mais peso a quando da sua utilização.

A junção do *smartphone* com os óculos de VR provou ser uma boa combinação pois assim foi conseguida uma MARS imersiva, de baixo custo, apresentando os conteúdos ao utilizador sem interferências da luz solar. Todavia os utilizadores que a testaram sentiram dificuldades de movimentação com esta MARS, apenas colocando-a em frente aos seus olhos quando necessário, devido à existência de um atraso entre o tempo de aquisição das imagens e a sua apresentação, o campo de visão estava limitado apenas a um pequeno retângulo correspondente às imagens captadas pela câmara do *smartphone*.

Quanto à MARS *tablet* Windows, apesar de esta não ter sido avaliada devido a problemas técnicos, foi possível aferir que existiam dificuldades de movimentação devido ao estreito campo de visão que o utilizador dispunha pois estava limitado ao tamanho do ecrã (abordagem *video see-through*), onde surgiam as imagens captadas pelas câmaras. A qualidade das suas câmaras era insuficiente para utilização no exterior onde as imagens captadas não eram suficientemente boas para serem utilizadas tanto para visualização como para *tracking*.

6 Conclusões e trabalho futuro

Este trabalho foi desenvolvido com a principal motivação de implementar e avaliar protótipos de MARS, utilizando-se dispositivos comerciais atuais, capazes de proporcionarem a melhor experiência, dando conforto ao utilizador com um custo comportável. Segue a apresentação das conclusões retiradas desta dissertação e a sugestão de trabalhos a realizar no futuro.

6.1 Conclusões

De uma forma geral, os objetivos propostos foram atingidos, tendo sido desenvolvidos e avaliados vários protótipos de MARS.

Depois de realizado o levantamento do estado da arte sobre os conceitos de realidade aumentada e a evolução de alguns sistemas de AR móvel publicados, foi identificada e caracterizada a arquitetura global para MARS sendo esta composta pelos seguintes componentes: componente de visualização, onde está incluído um ecrã da MARS para visualização de conteúdos; componente de contexto, onde estão inseridos vários tipos de sensores para aquisição de informações do meio onde o utilizador se encontra; componente de processamento, este é constituído por dispositivos de processamento e de armazenamento; componente de comunicação que engloba os interfaces de comunicação; e componente de alimentação responsável por fornecer energia a todos os dispositivos.

De acordo com esta arquitetura foram propostos vários protótipos de MARS baseados em dispositivos comerciais e com diferentes formas de visualizar a informação.

As propostas mais naturais e imersivas fizeram uso do HMDs conectados a um computador portátil, um *tablet* Windows e uns *smartglasses*. As propostas menos imersivas fizeram uso de um *tablet* Android e um *smartphone*.

Quanto ao custo dos vários protótipos de MARS propostos, o mais caro é o computador portátil, seguindo-se o *tablet* Windows, o *smartglasses*, o *tablet* Android e, por fim, o *smartphone*.

Em termos de peso, o sistema mais pesado é o computador portátil, seguido pelo *tablet* Windows, o *tablet* Android, o *smartglasses* e, o mais leve, o *smartphone*.

Foram realizados testes de performance nos vários protótipos para aferir a sua adequabilidade a ambientes AR. Para tal, foram desenvolvidas três aplicações: uma aplicação que apresentava um aumento gradual do número de vértices através do carregamento individual de modelos tridimensionais com poucos objetos; outra para o carregamento de um elevado número de objetos e um baixo número de vértices; e a terceira para o carregamento de vários modelos virtuais, aumentando gradualmente o número de objetos e vértices. Os resultados mostraram que o protótipo com melhor desempenho foi o computador portátil, seguindo-se o *tablet* Windows, o *smartphone* e o *tablet* Android - os *smartglasses* não conseguiram atingir um desempenho satisfatório na realização destes testes.

Por fim, foram realizadas experiências de avaliação dos protótipos propostos junto de utilizadores, em contexto *indoor* e *outdoor*, no sentido de apurar o conforto e a imersividade proporcionada pelos protótipos. A experiência *indoor* consistiu numa exposição virtual sobre borboletas, onde os utilizadores ao apontarem as câmaras dos dispositivos para imagens conseguiam visualizar modelos virtuais referentes a borboletas. Os dispositivos utilizados nesta experiência foram o computador portátil, o *tablet* Android, o *smartphone* e os *smartglasses*. A experiência *outdoor*, englobada no Projeto MixAR, consistiu na simulação de reconstruções de ruínas através de modelos virtuais. Foram avaliados o *tablet* Android e o *smartphone* em conjunto com os óculos de VR. No final de cada experiência, os utilizadores responderam a um questionário, a partir do qual se analisou comparativamente a prestação de cada um dos protótipos testados.

Da análise dos questionários da primeira experiência (*indoor*), verificou-se que os utilizadores se mostraram agrados por todos os protótipos, notando-se um maior grau de satisfação com os protótipos não imersivos (*tablet* Android e *smartphone*) pois estes permitiam uma melhor navegação e davam a possibilidade de ver o conteúdo virtual e o mundo real no ecrã proporcionando um maior envolvimento.

Alguns utilizadores referiram que sentiram desconforto na zona do dorso nasal com os protótipos as MARS *smartglasses* e computador portátil, pois estes protótipos fizeram uso do HMDs. Referiram ainda sentir alguma indisposição durante a utilização, nomeadamente: tonturas, visão turva, cansaço visual e desequilíbrios.

No caso do protótipo computador portátil, os utilizadores referiram desconforto devido ao peso que se concentrava na zona das costas e ombros - este protótipo é transportado numa mochila.

Para os restantes protótipos foram reportadas queixas por parte de uma minoria dos utilizadores tendo afirmado sentir desconforto na zona dos braços pelo facto destes dispositivos necessitarem de ser manter ao nível dos olhos para a correta visualização dos conteúdos.

Relativamente à segunda experiência (*outdoor*), o protótipo *smartphone* com óculos de VR, foi considerado mais imersivo quando comparado com o *tablet* Android, isto deve-se principalmente ao facto das condições de iluminação não causarem grande interferência na visualização dos conteúdos (o mesmo não se passou com o *tablete* Android), contudo os utilizadores apontaram dificuldades de movimentação preferindo remover o protótipo da sua cabeça e apenas coloca-lo quando chegassem ao local de observação.

De uma forma geral e conforme esperado, verificou-se que quanto mais alto é o preço e maior o peso maior é desempenho dos protótipos, sendo verdade também que quanto maior volume ocupado e maior peso, menor é o conforto proporcionado ao utilizador.

Nota: Parte do trabalho realizado nesta dissertação contribuiu para a realização do artigo “Cost-effective and lightweight mobile units for MixAR: a comparative trial among different setups” (Pádua et al., 2015), já aceite na conferência CENTERIS 2015 (*Conference on ENTERprise Information Systems*) encontrando-se já publicado.

6.2 Trabalho Futuro

Nesta dissertação implementámos e testámos vários protótipos de MARS com dispositivos disponíveis no mercado. Uma vez que a tecnologia continua a avançar com ritmo acelerado, como trabalhos futuros, existe necessidade e ambição de propor e avaliar novos protótipos baseados nos mais recentes dispositivos entretanto lançados no mercado, ainda mais leves e com maior desempenho.

Estamos convencidos que com os futuros protótipos será possível obter experiências com maior grau de imersão e conforto, capazes de funcionar em condições mais adversas como é o caso de ambientes com muita iluminação, permitindo uma maior liberdade de movimentação aos seus utilizadores.

No mercado, num futuro próximo, avizinhandose o surgimento de uma aposta clara na AR móvel, já foram anunciados novos dispositivos como o caso do Microsoft HoloLens, este dispositivo inclui câmaras de infravermelhos permitindo uma maior precisão na apresentação dos conteúdos. A aposta na combinação de dispositivos como *smartglasses* e *smartwatches* será um caminho a seguir, pois para que os *smartglasses* se tornem um tipo de dispositivo aceite socialmente, estes têm que ter um design apelativo e possibilitarem formas de interação diferentes da voz ou do toque (direto no dispositivo). A utilização de *smartwatches* ou *smartphones* para interação com os *smartglasses* seria uma boa alternativa, através de movimentos que o utilizador realizasse com o seu pulso poderia surtir efeito nos conteúdos que visualizaria e ao utilizar o ecrã do *smartwatch* ou *smartphone* poderia alterar as opções de seleção do conteúdo, a maior parte do processamento poderia ser realizado fora dos *smartglasses*, como por exemplo no *smartphone*, aliviando assim restrições de performance que pudessem existir. A nível comercial a VR está mais avançada que a AR, contudo, o potencial da RA é muito mais elevado pois pode ser utilizada em qualquer altura do dia, nos mais diversificados contextos, estando em constante auxílio do utilizador.

Bibliografia

- Adão, T., Magalhães, L., Peres, E., & Pereira, F. (2014). Procedural Generation of Traversable Buildings Outlined by Arbitrary Convex Shapes. *Procedia Technology*, 16, 310–321. <http://doi.org/10.1016/j.protcy.2014.10.097>
- Ahn, J., & Han, R. (2012). An indoor augmented-reality evacuation system for the Smartphone using personalized Pedometry. *Human-Centric Computing and Information Sciences*, 2(1), 1–23. <http://doi.org/10.1186/2192-1962-2-18>
- Ana Regina M. Cuperschmid, & Marcia Regina de Freitas. (2013). Possibilidades de uso de realidade aumentada Móvel para AEC. In *Qualidade de projeto nna era digital integrada*. São Paulo, Brasil. Retrieved from http://www.academia.edu/4478442/POSSIBILIDADES_DE_USO_DE_REALIDADE_AUMENTADA_M%C3%93VEL_PARA_AEC
- Azuma, R. T. (1997). A survey of augmented reality. *Presence: Teleoperators & Virtual Environments*, 6(4), 355.
- Bajura, M., & Neumann, U. (1995). Dynamic registration correction in video-based augmented reality systems. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 15(5), 52–60. <http://doi.org/10.1109/38.403828>
- Barakonyi, I., & Schmalstieg, D. (2006). Ubiquitous animated agents for augmented reality. In *IEEE/ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality, 2006. ISMAR 2006* (pp. 145–154). <http://doi.org/10.1109/ISMAR.2006.297806>
- Belimpasakis, P., Selonen, P., & You, Y. (2010). Bringing user-generated content from Internet services to mobile augmented reality clients. In *Virtual Reality Workshop (CMCVR), 2010 Cloud-Mobile Convergence for* (pp. 14–17). <http://doi.org/10.1109/CMCVR.2010.5560611>

- Biocca, F. A., & Rolland, J. P. (1998). Virtual Eyes Can Rearrange Your Body: Adaptation to Visual Displacement in See-Through, Head-Mounted Displays. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 7(3), 262–277. <http://doi.org/10.1162/105474698565703>
- Brand, D. D. (2001, February 21). How many frames per second can our wonderful eyes see? Retrieved November 8, 2015, from <http://amo.net/nt/02-21-01fps.html>
- Carmigniani, J., Furht, B., Anisetti, M., Ceravolo, P., Damiani, E., & Ivkovic, M. (2010). Augmented reality technologies, systems and applications. *Multimedia Tools and Applications*, 51(1), 341–377. <http://doi.org/10.1007/s11042-010-0660-6>
- Caudell, T. P., & Mizell, D. W. (1992). Augmented reality: an application of heads-up display technology to manual manufacturing processes. In *Proceedings of the Twenty-Fifth Hawaii International Conference on System Sciences, 1992* (Vol. ii, pp. 659–669 vol.2). <http://doi.org/10.1109/HICSS.1992.183317>
- Chamberlain, K. (2002). Performance Testing of the Trimble Pathfinder Pro XR Global Positioning System Receiver. URL: Http://www.Fs.Fed.us/database/gps/mtdc/gps2000/ProXR_3-2001. Retrieved from http://www.ruraltech.org/gis/gps/gps_receiver_tests/pro_xr/proxr_3-2001.pdf
- Chen, D. M., Tsai, S. S., Vedantham, R., Grzeszczuk, R., & Girod, B. (2009). Streaming mobile augmented reality on mobile phones. In *8th IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality, 2009. ISMAR 2009* (pp. 181–182). <http://doi.org/10.1109/ISMAR.2009.5336472>
- Cheok, A. D., Fong, S. W., Goh, K. H., Yang, X., Liu, W., & Farzbiz, F. (2003). Human Pacman: A Sensing-based Mobile Entertainment System with Ubiquitous Computing and Tangible Interaction. In *Proceedings of the 2Nd Workshop on Network and System*

-
- Support for Games* (pp. 106–117). New York, NY, USA: ACM.
<http://doi.org/10.1145/963900.963911>
- Cheok, A. D., Goh, K. H., Liu, W., Farbiz, F., Fong, S. W., Teo, S. L., ... Yang, X. (2004). Human Pacman: a mobile, wide-area entertainment system based on physical, social, and ubiquitous computing. *Personal and Ubiquitous Computing*, 8(2), 71–81.
<http://doi.org/10.1007/s00779-004-0267-x>
- Cisco. (2015, February 3). Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update 2014–2019 White Paper. Retrieved May 25, 2015, from http://cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/white_paper_c11-520862.html
- Dahne, P., & Karigiannis, J. N. (2002). Archeoguide: system architecture of a mobile outdoor augmented reality system. In *International Symposium on Mixed and Augmented Reality, 2002. ISMAR 2002. Proceedings* (pp. 263–264).
<http://doi.org/10.1109/ISMAR.2002.1115103>
- Domhan, T. (2010). Augmented Reality on Android Smartphones. *Studiengang Informationstechni. Dualen Hochschule Baden-Württemberg Stuttgart*. Retrieved from http://softwareforschung.de/fileadmin/_softwareforschung/downloads/WISTA/Tobias_Domhan_Studienarbeit.pdf
- Feiner, S., MacIntyre, B., Hollerer, T., & Webster, A. (1997). A touring machine: prototyping 3D mobile augmented reality systems for exploring the urban environment. In *First International Symposium on Wearable Computers, 1997. Digest of Papers* (pp. 74–81).
<http://doi.org/10.1109/ISWC.1997.629922>
- Feiner, S., Macintyre, B., & Seligmann, D. (1993). Knowledge-based Augmented Reality. *Commun. ACM*, 36(7), 53–62. <http://doi.org/10.1145/159544.159587>
-

- Ferdinand, P., Müller, S., Ritschel, T., & Wechselberger, U. (2005). The Eduventure—a new approach of digital game based learning combining virtual and mobile augmented reality games episodes. In *In Pre-Conference Workshop “Game based Learning” of DeLFI 2005 and GMW 2005 Conference* (Vol. 13). Rostock.
- Foxlin, E., & Harrington, M. (2000). WearTrack: a self-referenced head and hand tracker for wearable computers and portable VR. In *The Fourth International Symposium on Wearable Computers* (pp. 155–162). <http://doi.org/10.1109/ISWC.2000.888482>
- Gattullo Michele, Di Donato Michele, & Sorrentino Fabio. (2013). VisitAR: A Mobile Application for Tourism Using AR. In *SIGGRAPH Asia 2013 Symposium on Mobile Graphics and Interactive Applications* (pp. 103:1–103:6). New York, NY, USA: ACM. <http://doi.org/10.1145/2543651.2543665>
- Georg Klein. (2006, January). *Visual Tracking for Augmented Reality*. University of Cambridge. Retrieved from <http://www.robots.ox.ac.uk/~gk/publications/Klein2006Thesis.pdf>
- Gleue, T., & Dähne, P. (2001). Design and Implementation of a Mobile Device for Outdoor Augmented Reality in the Archeoguide Project. In *Proceedings of the 2001 Conference on Virtual Reality, Archeology, and Cultural Heritage* (pp. 161–168). New York, NY, USA: ACM. <http://doi.org/10.1145/584993.585018>
- Goose, S., Güven, S., Zhang, X., Sudarsky, R., & Navab, N. (2004). Paris: Fusing Vision-Based Location Tracking with Standards-Based 3d Visualization and Speech Interaction on a Pda. In *Proc. IEEE DMS 2004* (pp. 75–80).
- Greene, K. (2006, November 20). Hyperlinking Reality via Phones. Retrieved August 17, 2015, from <http://www.technologyreview.com/news/406899/hyperlinking-reality-via-phones/>

-
- Guven, S., Feiner, S., & Oda, O. (2006). Mobile Augmented Reality Interaction Techniques for Authoring Situated Media On-site. In *Proceedings of the 5th IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality* (pp. 235–236). Washington, DC, USA: IEEE Computer Society. <http://doi.org/10.1109/ISMAR.2006.297821>
- Henrysson, A., & Ollila, M. (2004). UMAR: Ubiquitous Mobile Augmented Reality. In *Proceedings of the 3rd International Conference on Mobile and Ubiquitous Multimedia* (pp. 41–45). New York, NY, USA: ACM. <http://doi.org/10.1145/1052380.1052387>
- Henrysson, A., Ollila, M., & Billingham, M. (2005). Mobile Phone Based AR Scene Assembly. In *Proceedings of the 4th International Conference on Mobile and Ubiquitous Multimedia* (pp. 95–102). New York, NY, USA: ACM. <http://doi.org/10.1145/1149488.1149504>
- Herbst, I., Braun, A.-K., McCall, R., & Broll, W. (2008). TimeWarp: Interactive Time Travel with a Mobile Mixed Reality Game. In *Proceedings of the 10th International Conference on Human Computer Interaction with Mobile Devices and Services* (pp. 235–244). New York, NY, USA: ACM. <http://doi.org/10.1145/1409240.1409266>
- Ho Lee, S., Hoon Han, J., Taik Leem, Y., & Yigitcanlar, T. (2008). Towards ubiquitous city : concept, planning, and experiences in the Republic of Korea. In T. Yigitcanlar, K. Velibeyoglu, & S. Baum (Eds.), *Knowledge-Based Urban Development : Planning and Applications in the Information Era* (pp. 148–169). Hershey, Pa.: IGI Global, Information Science Reference. Retrieved from <http://eprints.qut.edu.au/26131/>
- Höllerer, T., Feiner, S., Hallaway, D., Bell, B., Lanzagorta, M., Brown, D., ... Rosenblum, L. (2001). User interface management techniques for collaborative mobile augmented reality. *Computers & Graphics*, 25(5), 799–810. [http://doi.org/10.1016/S0097-8493\(01\)00122-4](http://doi.org/10.1016/S0097-8493(01)00122-4)
-

- Höllerer, T., Feiner, S., Terauchi, T., Rashid, G., & Hallaway, D. (1999). Exploring MARS: developing indoor and outdoor user interfaces to a mobile augmented reality system. *Computers & Graphics*, 23(6), 779–785. [http://doi.org/10.1016/S0097-8493\(99\)00103-X](http://doi.org/10.1016/S0097-8493(99)00103-X)
- Höllerer, T., Wither, J., & DiVerdi, S. (2007). “Anywhere Augmentation”: Towards Mobile Augmented Reality in Unprepared Environments. In P. D. G. Gartner, P. D. W. Cartwright, & P. D. M. P. Peterson (Eds.), *Location Based Services and TeleCartography* (pp. 393–416). Springer Berlin Heidelberg. Retrieved from http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-540-36728-4_29
- Honkamaa, P., Siltanen, S., Jäppinen, J., Woodward, C., & Korkalo, O. (2007). Interactive outdoor mobile augmentation using markerless tracking and GPS. In *Proc. Virtual Reality International Conference (VRIC), Laval, France* (pp. 285–288). Retrieved from <http://virtual.vtt.fi/virtual/proj2/multimedia/media/publications/aronsite-vric2007.pdf>
- Huang, Z., Hui, P., Peylo, C., & Chatzopoulos, D. (2013). Mobile augmented reality survey: a bottom-up approach. *arXiv:1309.4413 [cs]*. Retrieved from <http://arxiv.org/abs/1309.4413>
- Hughes, C. E., Stapleton, C. B., Hughes, D. E., & Smith, E. M. (2005). Mixed reality in education, entertainment, and training. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 25(6), 24–30. <http://doi.org/10.1109/MCG.2005.139>
- Jennett, C., Cox, A. L., Cairns, P., Dhoparee, S., Epps, A., Tijs, T., & Walton, A. (2008). Measuring and defining the experience of immersion in games. *International Journal of Human-Computer Studies*, 66(9), 641–661. <http://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2008.04.004>

-
- Julier, S., Baillot, Y., Lanzagorta, M., Brown, D., & Rosenblum, L. (2000). BARS: Battlefield Augmented Reality System. In *In NATO Symposium on Information Processing Techniques for Military Systems* (pp. 9–11).
- Kalkusch, M., Lidy, T., Knapp, M., Reitmayr, G., Kaufmann, H., & Schmalstieg, D. (2002). Structured visual markers for indoor pathfinding. In *Augmented Reality Toolkit, The First IEEE International Workshop* (p. 8 pp.–).
<http://doi.org/10.1109/ART.2002.1107018>
- Kalkusch, M., Lidy, T., Knapp, M., Reitmayr, G., Kaufmann, H., & Schmalstieg, D. (2002). Structured visual markers for indoor pathfinding. In *Augmented Reality Toolkit, The First IEEE International Workshop* (p. 8 pp.–).
<http://doi.org/10.1109/ART.2002.1107018>
- Kang, S., Lee, J., Jang, H., Lee, H., Lee, Y., Park, S., ... Song, J. (2008). SeeMon: Scalable and Energy-efficient Context Monitoring Framework for Sensor-rich Mobile Environments. In *Proceedings of the 6th International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services* (pp. 267–280). New York, NY, USA: ACM.
<http://doi.org/10.1145/1378600.1378630>
- Kato, H., & Billinghurst, M. (1999). Marker tracking and HMD calibration for a video-based augmented reality conferencing system. In *2nd IEEE and ACM International Workshop on Augmented Reality, 1999. (IWAR '99) Proceedings* (pp. 85–94).
<http://doi.org/10.1109/IWAR.1999.803809>
- Kennedy, R. S., Lane, N. E., Berbaum, K. S., & Lilienthal, M. G. (1993). Simulator Sickness Questionnaire: An Enhanced Method for Quantifying Simulator Sickness. *The International Journal of Aviation Psychology*, 3(3), 203–220.
http://doi.org/10.1207/s15327108ijap0303_3
-

- Klein, G., & Drummond, T. (2004). Sensor fusion and occlusion refinement for tablet-based AR. In *Third IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality, 2004. ISMAR 2004* (pp. 38–47). <http://doi.org/10.1109/ISMAR.2004.54>
- K.M. Stanney, R.S Kennedy, & K. Kingdon. (2015). *Virtual environment usage protocols. Handbook of virtual environments: Design, implementation, and applications* (2^a Edição). CRC Press.
- Krueger, M. W. (1991). *Artificial Reality II*. Addison-Wesley.
- Kruijff, E., Mendez, E., Veas, E., & Gruenewald, T. (2010). On-site monitoring of environmental processes using mobile augmented reality (HYDROSYS). In *Proceedings of the Environmental Information Systems and Services—Infrastructures and Platforms Workshop (ENVIP 2010)* (pp. 6–8). Citeseer. Retrieved from <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.413.9536&rep=rep1&type=pdf>
- Langlotz, T., Mooslechner, S., Zollmann, S., Degendorfer, C., Reitmayr, G., & Schmalstieg, D. (2011). Sketching up the world: in situ authoring for mobile Augmented Reality. *Personal and Ubiquitous Computing*, 16(6), 623–630. <http://doi.org/10.1007/s00779-011-0430-0>
- Lang, P., Kusej, A., Pinz, A., & Basseur, G. (2002). Inertial tracking for mobile augmented reality. In *Proceedings of the 19th IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference, 2002. IMTC/2002* (Vol. 2, pp. 1583–1587 vol.2). <http://doi.org/10.1109/IMTC.2002.1007196>
- Layar. (2015). Augmented Reality | Interactive Print | Layar. Retrieved August 21, 2015, from <https://www.layar.com/>
- Lin, B. P., Tsai, W.-H., Wu, C. C., Hsu, P. H., Huang, J. Y., & Liu, T.-H. (2013). The Design of Cloud-Based 4G/LTE for Mobile Augmented Reality with Smart Mobile Devices. In

-
- 2013 IEEE 7th International Symposium on Service Oriented System Engineering (SOSE) (pp. 561–566). <http://doi.org/10.1109/SOSE.2013.57>
- Magalhaes, L. G., Sousa, J. J., Bento, R., Adao, T., Pereira, F., Filipe, V., & Peres, E. (2014). Proposal of an Information System for an Adaptive Mixed Reality System for Archaeological Sites. *Procedia Technology*, 16, 499–507. <http://doi.org/10.1016/j.protcy.2014.10.117>
- Mann, S. (1997). Wearable computing: a first step toward personal imaging. *Computer*, 30(2), 25–32. <http://doi.org/10.1109/2.566147>
- Mantyjarvi, J., Paternò, F., Salvador, Z., & Santoro, C. (2006). Scan and Tilt: Towards Natural Interaction for Mobile Museum Guides. In *Proceedings of the 8th Conference on Human-computer Interaction with Mobile Devices and Services* (pp. 191–194). New York, NY, USA: ACM. <http://doi.org/10.1145/1152215.1152256>
- Merel, T. (2015, April 6). Augmented And Virtual Reality To Hit \$150 Billion, Disrupting Mobile By 2020. Retrieved from <http://social.techcrunch.com/2015/04/06/augmented-and-virtual-reality-to-hit-150-billion-by-2020/>
- metaio. (2012, August 28). ID Marker. Retrieved August 9, 2015, from <http://dev.metaio.com/sdk/documentation/tracking-config/optical-tracking/id-marker/>
- Metaio GmbH. (2015a). Junaio – Augmented Reality Browser. Retrieved March 12, 2015, from <http://www.junaio.com/>
- Metaio GmbH. (2015b). metaio | SDK Overview. Retrieved March 19, 2015, from <http://www.metaio.com/products/sdk/>
- Milgram, P., & Kishino, F. (1994, December). A Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays. *IEICE TRANSACTIONS on Information and Systems*, 77(12), 1321–1329.
- Miyashita, T., Meier, P., Tachikawa, T., Orlic, S., Eble, T., Scholz, V., ... Lieberknecht, S. (2008). An Augmented Reality museum guide. In *7th IEEE/ACM International*
-

- Symposium on Mixed and Augmented Reality, 2008. ISMAR 2008* (pp. 103–106).
<http://doi.org/10.1109/ISMAR.2008.4637334>
- Mohammed-Amin, R. K., Levy, R. M., & Boyd, J. E. (2012). Mobile Augmented Reality for Interpretation of Archaeological Sites. In *Proceedings of the Second International ACM Workshop on Personalized Access to Cultural Heritage* (pp. 11–14). New York, NY, USA: ACM. <http://doi.org/10.1145/2390867.2390871>
- Mohring, M., Lessig, C., & Bimber, O. (2004). Video see-through AR on consumer cell-phones. In *Third IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality, 2004. ISMAR 2004* (pp. 252–253). <http://doi.org/10.1109/ISMAR.2004.63>
- Morrison, A., Mulloni, A., Lemmelä, S., Oulasvirta, A., Jacucci, G., Peltonen, P., ... Regenbrecht, H. (2011). Mobile Augmented Reality: Collaborative Use of Mobile Augmented Reality with Paper Maps. *Comput. Graph.*, 35(4), 789–799. <http://doi.org/10.1016/j.cag.2011.04.009>
- Morrison, A., Oulasvirta, A., Peltonen, P., Lemmela, S., Jacucci, G., Reitmayr, G., ... Juustila, A. (2009). Like Bees Around the Hive: A Comparative Study of a Mobile Augmented Reality Map. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 1889–1898). New York, NY, USA: ACM. <http://doi.org/10.1145/1518701.1518991>
- Neumann, U., & You, S. (1999). Natural feature tracking for augmented reality. *IEEE Transactions on Multimedia*, 1(1), 53–64. <http://doi.org/10.1109/6046.748171>
- Newman, J., Ingram, D., & Hopper, A. (2001). Augmented reality in a wide area sentient environment. In *IEEE and ACM International Symposium on Augmented Reality, 2001. Proceedings* (pp. 77–86). <http://doi.org/10.1109/ISAR.2001.970517>

- Newman, J., Schall, G., Barakonyi, I., Schürzinger, A., & Schmalstieg, D. (2006). *Wide-area tracking tools for augmented reality*. Retrieved from http://www.icg.tu-graz.ac.at/Members/schmalstieg/Publications/newman_pervasive06_final.pdf
- Ni, L. M., Liu, Y., Lau, Y. C., & Patil, A. P. (2003). LANDMARC: indoor location sensing using active RFID. In *Proceedings of the First IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications, 2003. (PerCom 2003)* (pp. 407–415). <http://doi.org/10.1109/PERCOM.2003.1192765>
- Pac-Man. (2015, February 26). In *Wikipedia, the free encyclopedia*. Retrieved from <http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Pac-Man&oldid=648872926>
- Pádua, L., Narciso, D., Adão, T., Cunha, A., Peres, E., & Magalhães, L. (2015). Cost-effective and Lightweight Mobile Units for MixAR: A Comparative Trial among Different Setups. *Procedia Computer Science*, *64*, 870–878. <http://doi.org/10.1016/j.procs.2015.08.597>
- Papagiannakis, G., Singh, G., & Magnenat-Thalmann, N. (2008). A survey of mobile and wireless technologies for augmented reality systems. *Computer Animation and Virtual Worlds*, *19*(1), 3–22. <http://doi.org/10.1002/cav.221>
- Pasman, W., & Woodward, C. (2003). Implementation of an Augmented Reality System on a PDA. In *Proceedings of the 2Nd IEEE/ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality* (p. 276–). Washington, DC, USA: IEEE Computer Society. Retrieved from <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=946248.946844>
- Paucher, R., & Turk, M. (2010). Location-based augmented reality on mobile phones. In *2010 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW)* (pp. 9–16). <http://doi.org/10.1109/CVPRW.2010.5543249>
- Piekarski, W., Smith, R., & Thomas, B. H. (2004). Designing backpacks for high fidelity mobile outdoor augmented reality. In *Third IEEE and ACM International Symposium on Mixed*

- and Augmented Reality, 2004. ISMAR 2004* (pp. 280–281).
<http://doi.org/10.1109/ISMAR.2004.26>
- Piekarski, W., & Thomas, B. (2002). ARQuake: The Outdoor Augmented Reality Gaming System. *Commun. ACM*, 45(1), 36–38. <http://doi.org/10.1145/502269.502291>
- Piekarski, W., & Thomas, B. H. (2003). An object-oriented software architecture for 3D mixed reality applications. In *The Second IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality, 2003. Proceedings* (pp. 247–256).
<http://doi.org/10.1109/ISMAR.2003.1240708>
- Piekarski, W., & Thomas, B. H. (2003). ARQuake-Modifications and hardware for outdoor augmented reality gaming. Presented at the 4th Australian Linux Conference, Perth, Australia: Linux Australia. Retrieved from
http://150.203.164.37/linux.conf.au/2003/papers/Wayne_Piekarski/Wayne_Piekarski.pdf
- Quake (video game). (2015, February 15). In *Wikipedia, the free encyclopedia*. Retrieved from
[http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Quake_\(video_game\)&oldid=647207042](http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Quake_(video_game)&oldid=647207042)
- Qualcomm. (2015). Vuforia Developer Portal. Retrieved August 21, 2015, from
<https://developer.vuforia.com/downloads/sdk>
- Quarles, J., Lamptang, S., Fischler, I., Fishwick, P., & Lok, B. (2008). A Mixed Reality Approach for Merging Abstract and Concrete Knowledge. In *IEEE Virtual Reality Conference, 2008. VR '08* (pp. 27–34). <http://doi.org/10.1109/VR.2008.4480746>
- Rabbi, I., & Ullah, S. (2013). A Survey on Augmented Reality Challenges and Tracking. *Acta Grafica*, 24(1-2), 29–46.
- Randell, C., Djiallis, C., & Muller, H. (2003). Personal position measurement using dead reckoning. In *Seventh IEEE International Symposium on Wearable Computers, 2003. Proceedings* (pp. 166–173). <http://doi.org/10.1109/ISWC.2003.1241408>

-
- Reitmayr, G., & Drummond, T. W. (2006). Going out: robust model-based tracking for outdoor augmented reality. In *IEEE/ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality, 2006. ISMAR 2006* (pp. 109–118). <http://doi.org/10.1109/ISMAR.2006.297801>
- Reitmayr, G., & Schmalstieg, D. (2004). Collaborative Augmented Reality for Outdoor Navigation and Information Browsing. *Proceedings of the Second Symposium on Location Based Services and TeleCartography*, pp. 53 – 62. TU, Wien.
- Rekimoto, J. (1998). Matrix: a realtime object identification and registration method for augmented reality. In *Computer Human Interaction, 1998. Proceedings. 3rd Asia Pacific* (pp. 63–68). <http://doi.org/10.1109/APCHI.1998.704151>
- Renevier, P., & Nigay, L. (2001). Mobile Collaborative Augmented Reality: The Augmented Stroll. In M. R. Little & L. Nigay (Eds.), *Engineering for Human-Computer Interaction* (pp. 299–316). Springer Berlin Heidelberg. Retrieved from http://link.springer.com/chapter/10.1007/3-540-45348-2_25
- Renevier, P., Nigay, L., Bouchet, J., & Pasqualetti, L. (2005). Generic Interaction Techniques for Mobile Collaborative Mixed Systems. In R. J. K. Jacob, Q. Limbourg, & J. Vanderdonckt (Eds.), *Computer-Aided Design of User Interfaces IV* (pp. 309–322). Springer Netherlands. Retrieved from http://link.springer.com/chapter/10.1007/1-4020-3304-4_25
- Rohs, M. (2007). Marker-Based Embodied Interaction for Handheld Augmented Reality Games. *JVRB - Journal of Virtual Reality and Broadcasting*, 4(2007)(5). Retrieved from <http://www.jvr.org/past-issues/4.2007/793>
- Santos, P., Stork, A., Gierlinger, T., Pagani, A., Paloc, C., Barandarian, I., ... Bodammer, G. (2007). IMPROVE: An innovative application for collaborative mobile mixed reality design review. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)*, 1(2), 115–126. <http://doi.org/10.1007/s12008-007-0010-8>
-

- Schmalstieg, D., & Wagner, D. (2007). Experiences with Handheld Augmented Reality. In *6th IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality, 2007. ISMAR 2007* (pp. 3–18). <http://doi.org/10.1109/ISMAR.2007.4538819>
- Schmalstieg, D., & Wagner, D. (2009). Mobile phones as a platform for augmented reality, *1*, 3.
- Schmeil, A., & Broll, W. (2006). MARA: An Augmented Personal Assistant and Companion. In *ACM SIGGRAPH 2006 Sketches*. New York, NY, USA: ACM. <http://doi.org/10.1145/1179849.1180025>
- Seiko Epson Corporation. (2014). Moverio BT-200 - Epson. Retrieved May 21, 2015, from <http://www.epson.pt/pt/pt/viewcon/corporatesite/products/mainunits/overview/12411>
- Sumadio, D. D., & Rambli, D. R. A. (2010). Preliminary Evaluation on User Acceptance of the Augmented Reality Use for Education. In *2010 Second International Conference on Computer Engineering and Applications (ICCEA)* (Vol. 2, pp. 461–465). <http://doi.org/10.1109/ICCEA.2010.239>
- Sutherland, I. E. (1968). A Head-mounted Three Dimensional Display. In *Proceedings of the December 9-11, 1968, Fall Joint Computer Conference, Part I* (pp. 757–764). New York, NY, USA: ACM. <http://doi.org/10.1145/1476589.1476686>
- TabTimes. (2014). The State of the Tablet Market. Retrieved from <http://tabtimes.com/resources/the-state-of-the-tablet-market/>
- Takacs, G., Chandrasekhar, V., Gelfand, N., Xiong, Y., Chen, W.-C., Bismpianni, T., ... Girod, B. (2008). Outdoors Augmented Reality on Mobile Phone Using Loxel-based Visual Feature Organization. In *Proceedings of the 1st ACM International Conference on Multimedia Information Retrieval* (pp. 427–434). New York, NY, USA: ACM. <http://doi.org/10.1145/1460096.1460165>

- Takacs, G., Chandrasekhar, V., Girod, B., & Grzeszczuk, R. (2007). Feature Tracking for Mobile Augmented Reality Using Video Coder Motion Vectors. In *6th IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality, 2007. ISMAR 2007* (pp. 141–144). <http://doi.org/10.1109/ISMAR.2007.4538838>
- Tamura, H., Yamamoto, H., & Katayama, A. (2001). Mixed reality: future dreams seen at the border between real and virtual worlds. *IEEE Computer Graphics and Applications*, *21*(6), 64–70. <http://doi.org/10.1109/38.963462>
- Thomas, B., Close, B., Donoghue, J., Squires, J., De Bondi, P., Morris, M., & Piekarski, W. (2000). ARQuake: an outdoor/indoor augmented reality first person application. In *The Fourth International Symposium on Wearable Computers* (pp. 139–146). <http://doi.org/10.1109/ISWC.2000.888480>
- Tokusho, Y., & Feiner, S. (2009). Prototyping an outdoor mobile augmented reality street view application. In *Proceedings of ISMAR Workshop on Outdoor Mixed and Augmented Reality* (Vol. 2). Citeseer. Retrieved from <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.472.9624&rep=rep1&type=pdf>
- Ullah, S. (2011, January 26). *Multi-modal Interaction in Collaborative Virtual Environments: Study and analysis of performance in collaborative work* (phdthesis). Université d'Evry-Val d'Essonne. Retrieved from <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00562081/document>
- van Krevelen, D., & Poelman, R. (2010). A Survey of Augmented Reality Technologies, Applications and Limitations. *The International Journal of Virtual Reality*, *9*(2), 1–20.
- VAST '01: Proceedings of the 2001 Conference on Virtual Reality, Archeology, and Cultural Heritage*. (2001). New York, NY, USA: ACM.

- Vlahakis, V., Ioannidis, N., Karigiannis, J., Tсотros, M., Gounaris, M., Stricker, D., ... Almeida, L. (2002). Archeoguide: an augmented reality guide for archaeological sites. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 22(5), 52–60. <http://doi.org/10.1109/MCG.2002.1028726>
- Vlahakis, V., Karigiannis, J., Tсотros, M., Ioannidis, N., & Stricker, D. (2002). Personalized augmented reality touring of archaeological sites with wearable and mobile computers. In *Sixth International Symposium on Wearable Computers, 2002. (ISWC 2002). Proceedings* (pp. 15–22). <http://doi.org/10.1109/ISWC.2002.1167214>
- Vuzix. (2014). Wrap 1200AR | Vuzix. Retrieved March 13, 2015, from http://www.vuzix.com/UKSITE/augmented-reality/products_wrap1200dxar.html
- Wagner, D., Pintaric, T., Ledermann, F., & Schmalstieg, D. (2005). Towards massively multi-user augmented reality on handheld devices. In *Proceedings of the 3rd International Conference on Pervasive Computing*. Minich, Germany: Springer. Retrieved from http://link.springer.com/chapter/10.1007/11428572_13
- Wagner, D., & Schmalstieg, D. (2009). History and Future of Tracking for Mobile Phone Augmented Reality. In *International Symposium on Ubiquitous Virtual Reality, 2009. ISUVR '09* (pp. 7–10). <http://doi.org/10.1109/ISUVR.2009.11>
- Wagner, D., Schmalstieg, D., & Bischof, H. (2009). Multiple target detection and tracking with guaranteed framerates on mobile phones. In *8th IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality, 2009. ISMAR 2009* (pp. 57–64). <http://doi.org/10.1109/ISMAR.2009.5336497>
- Wang, X., & Dunston, P. S. (2007). Design, strategies, and issues towards an augmented reality-based construction training platform. Retrieved August 13, 2015, from http://www.itcon.org/cgi-bin/works/Show?2007_25

-
- Waters, J. K. (2010). Enter the iPad (or Not?): Apple's New Table Computer Has Earned Raves for Its Design, Portability, and Dynamic Apps, but Is It Any Better Than the Netbooks and Laptops Now Fueling School Computing Programs? Depends Who You Ask. *T H E Journal (Technological Horizons In Education)*, 37(6), 38.
- Weiser, M. (1999). The Computer for the 21st Century. *SIGMOBILE Mob. Comput. Commun. Rev.*, 3(3), 3–11. <http://doi.org/10.1145/329124.329126>
- White, S., Feiner, S., & Kopylec, J. (2006). Virtual Vouchers: Prototyping a Mobile Augmented Reality User Interface for Botanical Species Identification. In *IEEE Symposium on 3D User Interfaces, 2006. 3DUI 2006* (pp. 119–126). <http://doi.org/10.1109/VR.2006.145>
- Wikitude GmbH. (2015). Wikitude - The World's leading Augmented Reality SDK. Retrieved August 21, 2015, from <https://www.wikitude.com/>
- Wither, J., & Hollerer, T. (2005). Pictorial depth cues for outdoor augmented reality. In *Ninth IEEE International Symposium on Wearable Computers, 2005. Proceedings* (pp. 92–99). <http://doi.org/10.1109/ISWC.2005.41>
- Witmer, B. G., & Singer, M. J. (1998). Measuring Presence in Virtual Environments: A Presence Questionnaire. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 7(3), 225–240. <http://doi.org/10.1162/105474698565686>
- Zhou, F., Duh, H. B.-L., & Billinghurst, M. (2008). Trends in Augmented Reality Tracking, Interaction and Display: A Review of Ten Years of ISMAR. In *Proceedings of the 7th IEEE/ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality* (pp. 193–202). Washington, DC, USA: IEEE Computer Society. <http://doi.org/10.1109/ISMAR.2008.4637362>
- Zollner, M., Keil, J., Wust, H., & Pletinckx, D. (2009). An augmented reality presentation system for remote cultural heritage sites. In *Proceedings of the 10th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage VAST* (pp. 112–

116). Citeseer. Retrieved from
<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.331.5961&rep=rep1&type=pdf>

Anexos

Anexo A – Experiência exposição virtual

Folha de consentimento

Investigador: Luís Pádua, Mestrado em Engenharia Informática (UTAD)

Termos da realização da experiência

Esta experiência tem como propósito a recolha de opinião sobre o conforto e a imersividade na utilização de várias unidades móveis de realidade aumentada. A experiência inclui a visualização de conteúdos de realidade aumentada.

Os participantes são voluntários e não recebem quaisquer benefícios pela realização da experiência. A qualquer momento podem desistir da experiência, não estando estes vinculados a nenhuma obrigação.

Toda a informação recolhida será anonimizada e utilizada para fins científicos.

A experiência pressupõe a realização de um conjunto de tarefas (procedimento). No seu decorrer serão dadas instruções para a sua realização, sendo que poderão variar de teste para teste.

Esta experiência foi previamente testada, pelo que não se prevê que da sua realização resulte qualquer tipo de lesão para os participantes.

O investigador está à disposição para esclarecer quaisquer dúvidas suplementares sobre a experiência, antes da realização da mesma.

Declaração

Declaro que li e concordo com os termos realização da experiência. Reservando-me ao direito de abandonar a experiência em qualquer fase da mesma. Dando o meu consentimento a que os dados recolhidos durante a realização da experiência sejam utilizados para fins científicos.

Assinatura: _____

Data: ____ / ____ / ____

Questionário genérico

Idade: _____ **Género:** Masculino Feminino

Usa óculos ou lentes de contato? Sim Não

Profissão: _____

Habilitações académicas

Ensino Básico Ensino Secundário Ensino Superior

Qual a sua área de estudos / formação?

Como classifica a sua experiência com computadores

Nenhuma Básica Intermédia Boa Avançada

Possui um bom nível de experiência na utilização de smartphones?

Sim Não

Em que sistema(s) operativo(s)? Android iOS Windows Phone

Possui um bom nível de experiência na utilização de tablets?

Sim Não

Em que sistema(s) operativo(s)? Android iOS Windows

Já teve contacto com alguma experiência de realidade aumentada?

Sim Não

Já teve contacto com alguma experiência de realidade virtual?

Sim Não

Observações

(A preencher pelo investigador)

Dificuldade em se ambientar à experiência.

Muita Alguma Nenhuma

Sentiu alguma indisposição?

Sim Não

Que tipo? _____

Sentiu dificuldade em se movimentar?

Muita Alguma Nenhuma

Dificuldade na realização das tarefas.

Muita Alguma Nenhuma

Observações ou comentários do sujeito em teste durante a experiência

Questionário

Parte 1 – Presença, imersividade e visualização

Com base na escala de Likert abaixo, indique quanto concorda ou discorda com cada uma das seguintes afirmações.

Discordo Totalmente	Discordo	Não concordo nem discordo	Concordo	Concordo Totalmente
1	2	3	4	5

- | | |
|---|-----------|
| 1. O conteúdo virtual apresentado pareceu-me estar perfeitamente integrado no mundo real. | 1 2 3 4 5 |
| 2. Senti-me completamente imerso no ambiente da experiência. | 1 2 3 4 5 |
| 3. Prestei mais atenção ao ambiente exibido do que ao contexto exterior. | 1 2 3 4 5 |
| 4. Senti-me envolvido pelo conteúdo da experiência. | 1 2 3 4 5 |
| 5. Senti que os conteúdos virtuais não estavam no mundo real. | 1 2 3 4 5 |
| 6. Os conteúdos virtuais pareceram-me ter a fluidez adequada. | 1 2 3 4 5 |
| 7. As imagens visualizadas estavam sincronizadas (sem atrasos) em relação ao mundo real. | 1 2 3 4 5 |
| 8. A qualidade do conteúdo visualizado pareceu-me satisfatória. | 1 2 3 4 5 |
| 9. Gostaria que a experiência tivesse continuado. | 1 2 3 4 5 |

Parte 2 – Conforto

Nas seguintes questões indique a opção ou opções que acha que mais se aproxima ao que vivenciou durante a utilização da unidade móvel de realidade aumentada.

1. Como classifica a sua ambientação à experiência?

Muito difícil Difícil Normal Fácil Muito fácil

2. O protótipo testado provocou-lhe dificuldades de movimentação?

Sim Não

3. Relativamente às tarefas propostas como classifica a sua facilidade de execução?

Muito difícil Difícil Normal Fácil Muito fácil

4. Classifique de forma geral o protótipo quanto ao seu peso.

Muito leve Leve Normal Pesado Muito pesado

5. Assinale zonas corporais em que o peso lhe pareceu excessivo / incomodativo.

Ombros e/ou costas Braços Pernas Cabeça Nariz

Outra Qual? _____

6. A experiência causou-lhe alguma indisposição durante a experiência? Se sim assinale o(s) tipo(s).

Dores de cabeça Enjoos Tonturas Cansaço visual Desequilíbrio

Outra Qual? _____

7. A experiência pareceu-lhe cansativa? Sim Não

Parte 3 - Geral

Na sua opinião, indique em uma ou mais áreas em que o protótipo testado poderia ter aplicabilidade?

Turismo

Entretenimento

Auxílio na navegação

Treino e Educação

Auxílio na montagem e manutenção

Apresentação de informação

Outra(s) Quais? _____

Observações (proposta de melhorias, problemas encontrados)

Resultados

Resultados da parte 1 do questionário

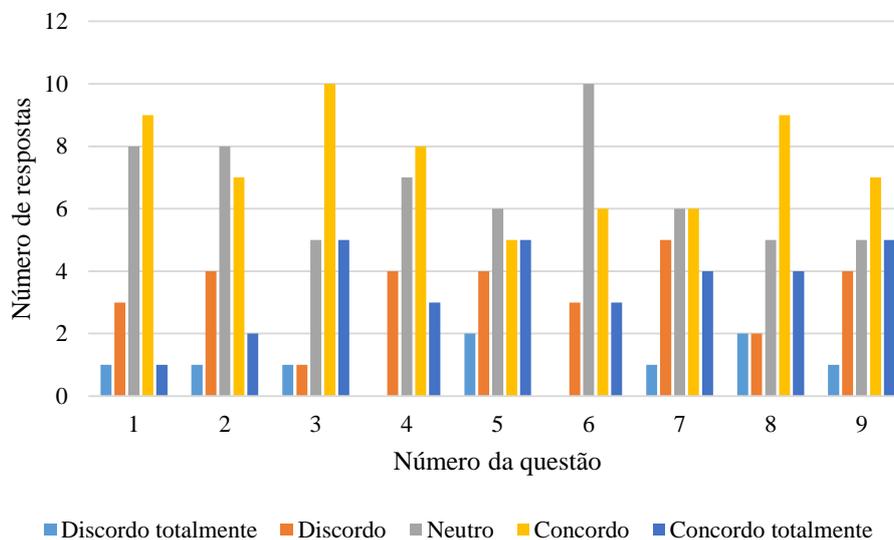


Figura 62 Questões 1 a 9 na MARS computador portátil.

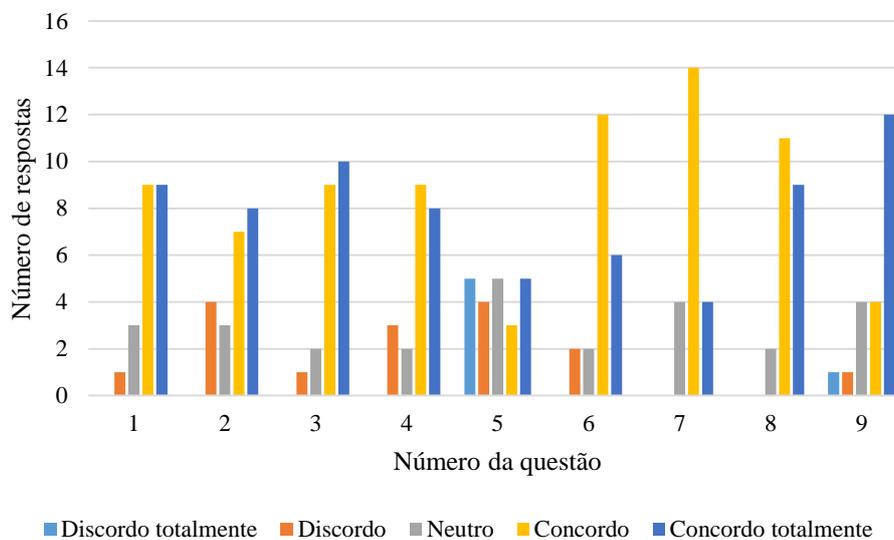


Figura 63 Questões 1 a 9 na MARS tablet Android.

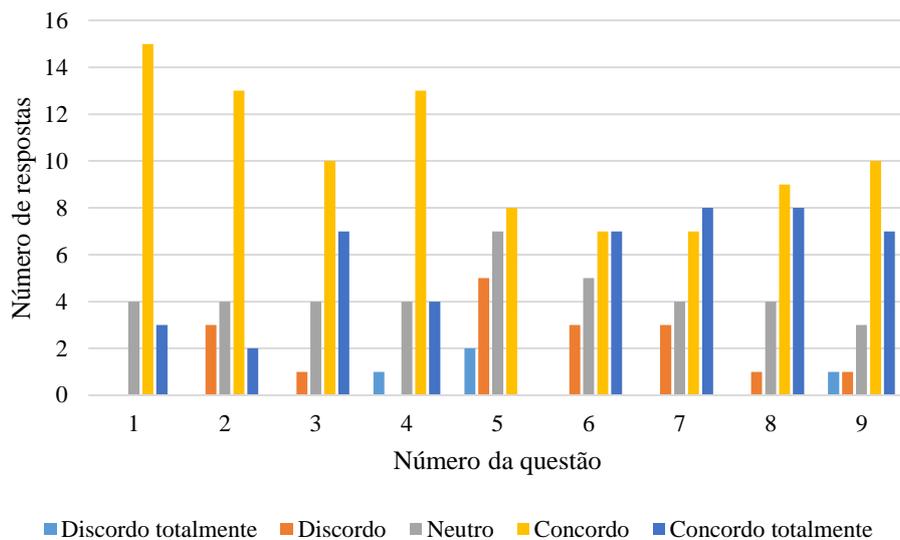


Figura 64 Questões 1 a 9 na MARS *smartphone*.

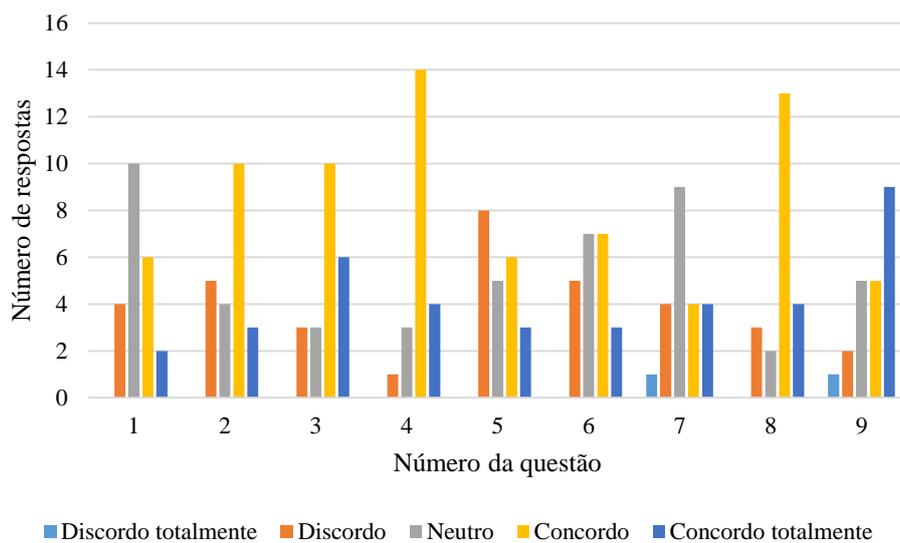


Figura 65 Questões 1 a 9 na MARS *smartglasses*.

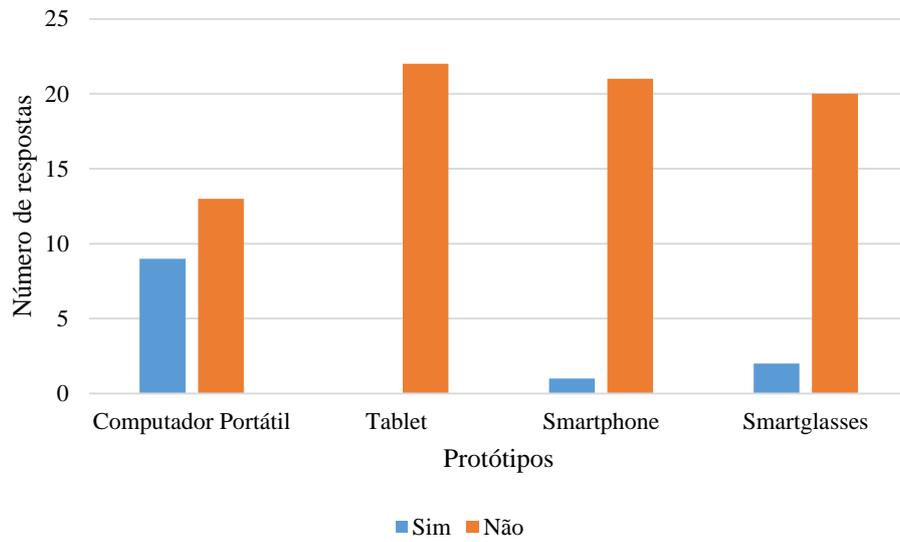
Resultados da parte 2 do questionário

Figura 66 Resultados da questão "O protótipo testado provocou-lhe dificuldades de movimentação?".

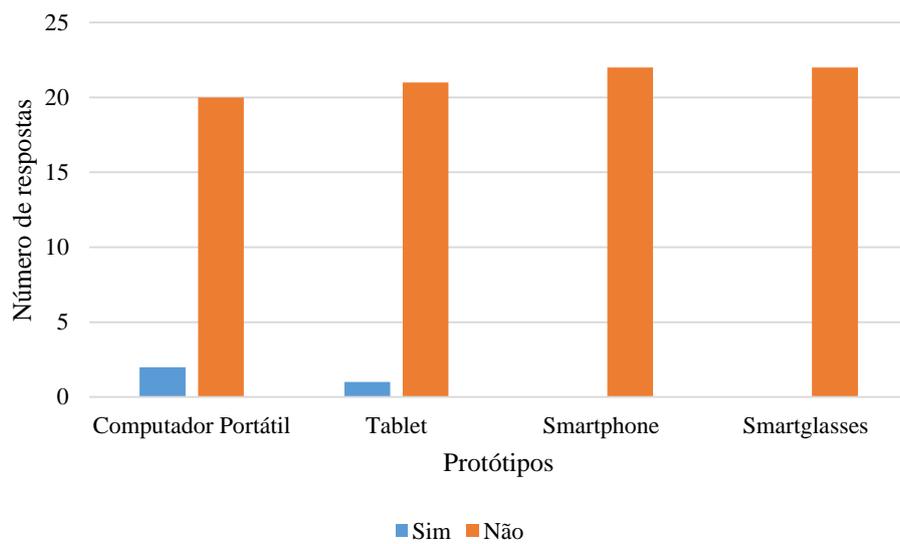


Figura 67 Resultados da questão "A experiência pareceu-lhe cansativa?".

Anexo B – Experiência MixAR

Folha de consentimento

Âmbito: Projeto MixAR (BI/MIXAR/38803/UTAD/2014): um sistema de realidade mista para a reconstrução virtual de sítios de herança cultural.

Termos da realização da experiência

Esta experiência tem como propósito a recolha de opinião sobre o conforto, presença, imersividade e satisfação, no âmbito do projeto supramencionado. A experiência inclui a visualização de conteúdos de realidade aumentada.

Os participantes são voluntários e não recebem quaisquer benefícios pela realização da experiência. A qualquer momento podem desistir da experiência, não estando estes vinculados a nenhuma obrigação.

Toda a informação recolhida será anonimizada e utilizada para fins científicos.

A experiência pressupõe a realização de um conjunto de tarefas (procedimento). No decorrer desta serão dadas instruções para a sua realização, sendo que poderão variar de teste para teste.

Esta experiência foi previamente testada, pelo que não se prevê que da sua realização resulte qualquer tipo de lesão para os participantes.

Os investigadores estão à disposição para esclarecer quaisquer dúvidas suplementares sobre a experiência, antes da realização da mesma.

Declaração

Declaro que li e concordo com os termos realização da experiência. Reservando-me ao direito de abandonar a experiência em qualquer fase da mesma. Dando o meu consentimento a que os dados recolhidos durante a realização da experiência sejam utilizados para fins científicos.

Assinatura: _____

Data: ____ / ____ / ____

Questionário genérico

Idade: _____ **Género:** Masculino Feminino

Usa óculos ou lentes de contato? Sim Não

Profissão: _____

Habilitações académicas

Ensino Básico Ensino Secundário Ensino Superior

Qual a sua área de estudos / formação?

Como classifica a sua experiência com computadores

Nenhuma Básica Intermédia Boa Avançada

Possui um bom nível de experiência na utilização de smartphones?

Sim Não

Em que sistema(s) operativo(s)? Android iOS Windows Phone

Possui um bom nível de experiência na utilização de tablets?

Sim Não

Em que sistema(s) operativo(s)? Android iOS Windows

Já teve contacto com alguma experiência de realidade aumentada?

Sim Não

Já teve contacto com alguma experiência de realidade virtual?

Sim Não

Dispositivo da experiência: _____

ID: _____

Por favor, assinale para cada um dos grupos de questões, a resposta que mais se adequa à experiência que realizou, entre o “Discordo Totalmente” e o “Concordo Totalmente”.

Questionário de satisfação

Questão	Discordo Totalmente	Discordo	Neutro	Concordo	Concordo Totalmente
1. Repetiria a experiência novamente	•	•	•	•	•
2. Gostei dos conteúdos que me foram apresentados	•	•	•	•	•
3. Foi difícil visualizar os edifícios durante a experiência	•	•	•	•	•
4. O(s) dispositivo(s) da experiência era(m) pesado(s) e difícil(eis) de transportar	•	•	•	•	•
5. No geral, fiquei agradado com a qualidade dos modelos virtuais exibidos	•	•	•	•	•
6. Os conteúdos visualizados estavam sincronizados com o mundo real	•	•	•	•	•
7. Os modelos eram apresentados de uma forma robusta (sem saltos) e fluída	•	•	•	•	•
8. Tive a sensação de estar a visitar o passado	•	•	•	•	•
9. Utilizaria este sistema em espaços arqueológicos para visualização de reconstrução de ruínas	•	•	•	•	•
10. Gostaria que os museus e espaços arqueológicos disponibilizassem sistemas deste género para visitas interativas	•	•	•	•	•
11. No geral, gostei da experiência que acabei de realizar	•	•	•	•	•

Questionário de presença

	Questão	Discordo Totalmente	Discordo	Neutro	Concordo	Concordo Totalmente
1.	Senti-me envolvido pela experiência	•	•	•	•	•
2.	Estive consciente do que se passava no mundo real (fora da experiência)	•	•	•	•	•
3.	Consegui abstrair-me dos dispositivos que estava a usar na experiência	•	•	•	•	•
4.	Fui capaz de aproximar-me dos edifícios para os observar	•	•	•	•	•
5.	Consegui visualizar os edifícios virtuais de pontos de vista diferentes	•	•	•	•	•
6.	Senti-me confuso ou desorientado durante a experiência	•	•	•	•	•
7.	Senti que havia um atraso entre as minhas ações e o conteúdo apresentado	•	•	•	•	•
8.	Adaptei-me com facilidade à experiência	•	•	•	•	•
9.	Senti facilidade a deslocar-me no ambiente	•	•	•	•	•
10.	Senti que a qualidade visual penalizou a execução das tarefas na experiência	•	•	•	•	•
11.	Consegui concentrar-me mais nas tarefas do que nos dispositivos	•	•	•	•	•
12.	Estive tão envolvido que perdi a noção do tempo	•	•	•	•	•

Questionário de imersividade

Questão	Discordo Totalmente	Discordo	Neutro	Concordo	Concordo Totalmente
1. Estive interessado em saber o que iria acontecer ao longo da experiência	•	•	•	•	•
2. Fiquei intrigado com o que poderia acontecer em cada tarefa da experiência	•	•	•	•	•
3. A qualidade dos conteúdos apresentados pareceu-me boa	•	•	•	•	•
4. Senti que conseguia mover-me à vontade no ambiente	•	•	•	•	•
5. Senti que os conteúdos virtuais apresentados faziam parte do mundo real	•	•	•	•	•
6. Enquanto durou, a experiência foi a minha única preocupação	•	•	•	•	•
7. Pareceu-me que passou pouco tempo desde o início ao fim da experiência	•	•	•	•	•
8. A experiência prendeu a minha atenção	•	•	•	•	•
9. Esqueci-me das minhas preocupações quotidianas durante a experiência	•	•	•	•	•
10. Senti que estive a experienciar uma situação nova, mais do que apenas realizar tarefas	•	•	•	•	•
11. Senti-me motivado com o decorrer da experiência	•	•	•	•	•
12. Senti que realizei a experiência com sucesso	•	•	•	•	•
13. Senti-me dececionado com o final da experiência	•	•	•	•	•

Questionário de conforto

Assinale as zonas corporais em que sentiu cansaço ou exaustão:

Cansaço generalizado:

Ombros:

Costas:

Dorso nasal:

Pernas:

Braços:

Pernas:

Outro: _____

Assinale os tipos de indisposição que sentiu:

Tonturas

Vertigens

Enjoos

Olhos cansados

Problemas em focar a visão

Desorientação

Sensação de desmaio

Dores de cabeça

Visão turva

Problemas de concentração

Resultados

Resultados do questionário de satisfação

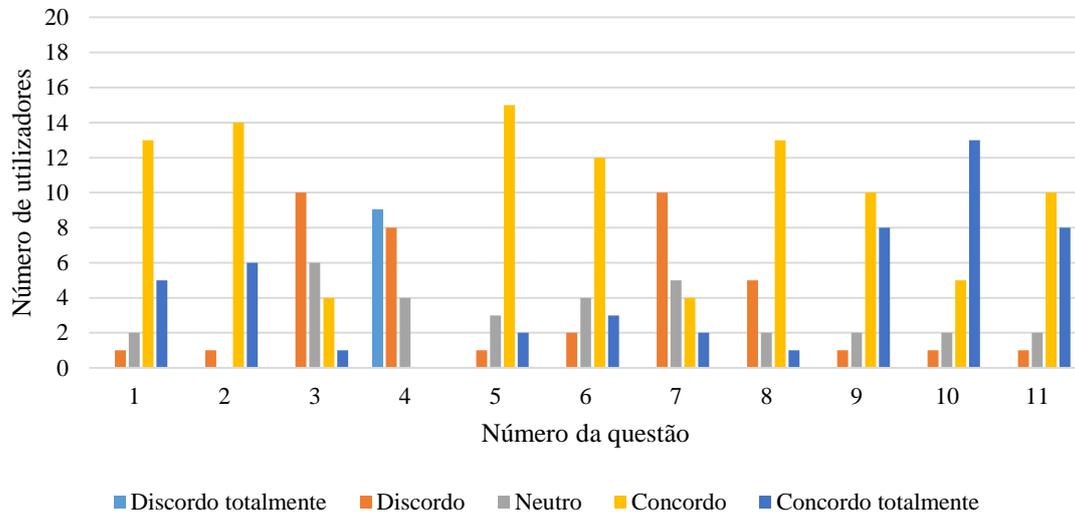


Figura 68 Respostas relativas ao *tablet* Android no questionário de satisfação.

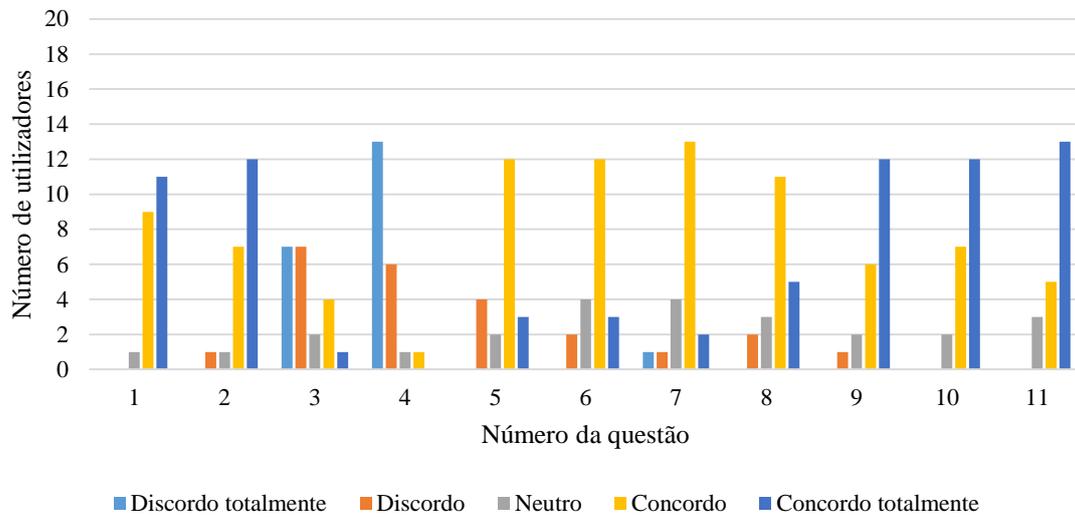


Figura 69 Respostas relativas ao *smartphone* como HMD no questionário de satisfação.

Resultados do questionário de presença

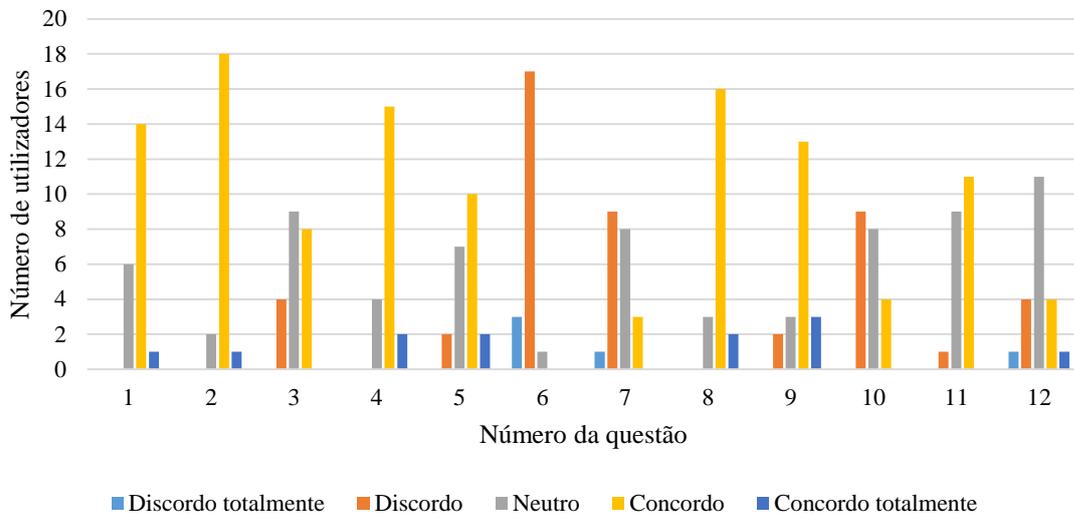


Figura 70 Respostas relativas ao *tablet* Android no questionário de presença.

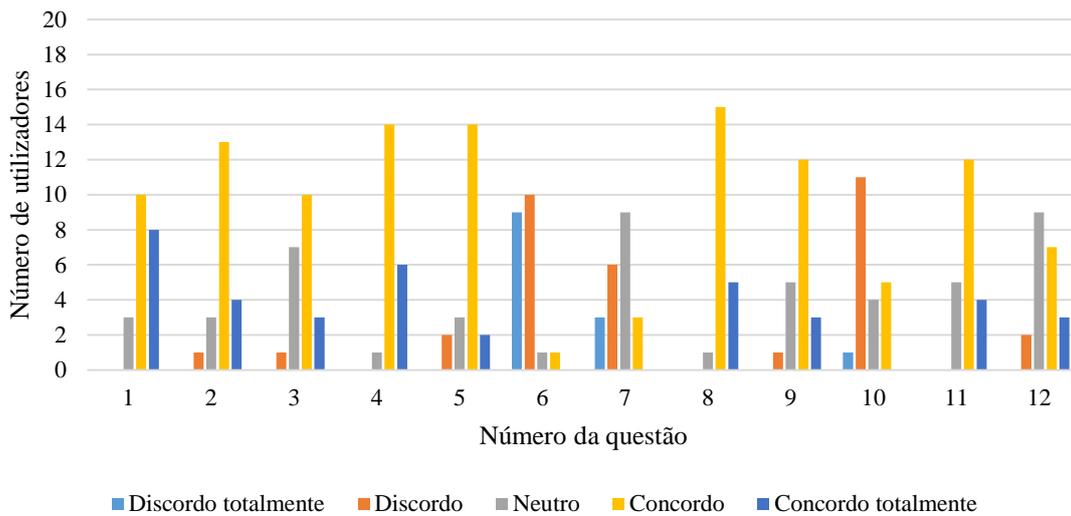


Figura 71 Respostas relativas ao *smartphone* como HMD no questionário de presença.

Resultados do questionário de imersividade

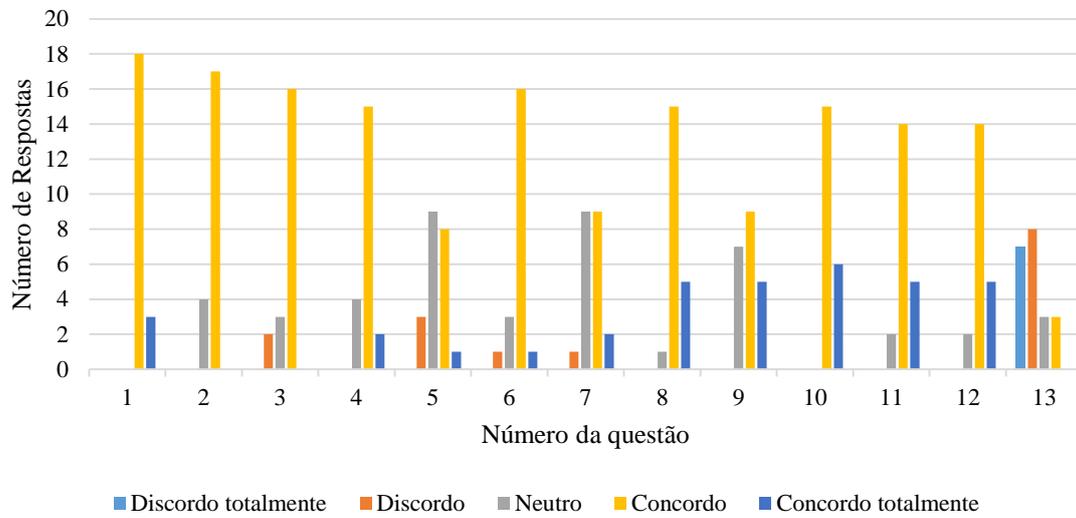


Figura 72 Respostas relativas ao *tablet* Android no questionário de imersividade.

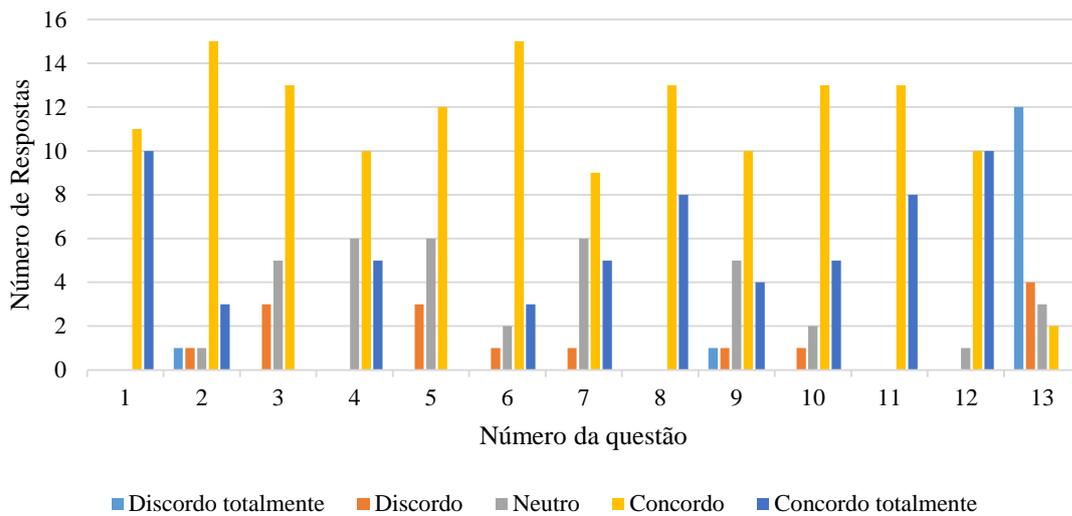


Figura 73 Respostas relativas ao *smartphone* como HMD no questionário de imersividade.