

UNIVERSIDADE DE LISBOA
FACULDADE DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE INFORMÁTICA



Realidade aumentada para a visualização de estruturas ocultas em edifícios

Manuel António Macedo Tomás

Mestrado em Engenharia Informática

Trabalho de Projeto orientado por:
Prof.^a Doutora Maria Beatriz Duarte Pereira do Carmo
Prof.^a Doutora Ana Paula Boler Cláudio

Agradecimentos

Quero começar por agradecer à minha família que sempre me apoiou durante o meu percurso académico. Ao meu avô pela ajuda que me deu durante a minha passagem por Lisboa e aos meus pais por sempre confiarem em mim e me motivarem para poder chegar a bom porto.

Um grande obrigado às minhas orientadoras, Prof.^a Doutora Maria Beatriz Duarte Carmo e Prof.^a Doutora Ana Paulo Boler Cláudio pela orientação, por acreditarem neste projeto, pela paciência e pela disponibilidade que sempre demonstraram ao durante este longo percurso para realizar este projeto de tese.

Quero também deixar um agradecimento a todos os que me ajudaram nesta tese, em especial aos voluntários que fizeram o esforço de se deslocar à faculdade para realizar os testes à aplicação.

Aos meus avós.

Resumo

Quando os edifícios são construídos devem ser criados planos sobre a posição de todos os seus elementos, incluindo paredes, portas, canalizações, entre outros. Apesar disto, em fase de execução ocorrem várias vezes modificações que, podendo eventualmente não justificar alterações ao projeto, levam a que, por vezes, a posição real destes elementos não corresponda à sua posição projetada.

A manutenção ou renovação de edifícios é inevitável a certa altura do tempo de vida das estruturas. A execução destes procedimentos geralmente implica a realização de perfurações em paredes ou até mesmo a sua destruição. Se as canalizações não estiverem na posição projetada, um tubo pode, inadvertidamente, ser perfurado.

Por outro lado, mesmo que as canalizações estejam dentro das posições projetadas, nem sempre é fácil para a pessoa que está a realizar o trabalho identificá-las através das plantas. Acresce referir que nem sempre é prático ler estes planos cada vez que se quer fazer uma intervenção simples, como seja, por exemplo, pendurar um quadro ou um espelho.

Este projeto teve como objetivo a criação de uma aplicação móvel que oferece a possibilidade de os utilizadores verem, através de realidade aumentada, a posição em que os tubos passam dentro de uma parede, chão ou teto, permitindo evitá-los aquando de operações que tenham algum risco de os danificar.

O desenvolvimento da solução passou pela análise da utilização de diferentes métodos de alinhamento que permitiu a escolha de uma combinação que tivesse resultados compatíveis com os objetivos do projeto.

Foram realizados testes com utilizadores em dois momentos diferentes em que os resultados obtidos na primeira sessão foram usados para melhorar a aplicação antes da segunda sessão.

Palavras-chave: Realidade Aumentada, Building Information Models, Manutenção de Edifícios, Aplicação Móvel, Engenharia Civil

Abstract

When buildings are constructed, there must be created plans with the position of all its elements, including walls, doors, plumbing, among others. Despite, sometimes changes on execution are made, and may not justify a change to the initial project. This can sometimes lead to these elements real positions not corresponding to their projected position.

Building maintenance or renovation is inevitable at a certain point in the structure lifecycle. The execution of these procedures most times involves perforations in walls or even their destruction. If plumbings are not in their projected position, a pipe can be pierced inadvertently.

On the other hand, even if plumbing is within the projected positions, it is not always easy for the person excuting the job to identify them using the plans. Furthermore, sometimes it is not pratical to read these plans each time a minor intervention is needed, for example, to hang a painting or mirror.

The objective of this project was the creation of a mobile aplication that allows users to see, through augmented reality, the position of the pipes inside a wall, floor or ceiling, helping to avoid them when executing operations that have some risk of damaging them.

The development involved the analysis of diferent tracking methods leading to the choice of a combination with results that were compatible with goals of the project.

User testing was made in two different moments and the results of the first session of testing were used to improve the application before the second round.

Keywords: Augmented Reality, Building Information Models, Building Maintenance, Mobile Aplication, Civil Engeneering

Conteúdo

Lista de Figuras	xiv
Lista de Tabelas	xvii
Abreviaturas	xx
1 Introdução	1
1.1 Motivação	1
1.2 Objectivos	1
1.3 Contribuições	2
1.4 Estrutura do documento	2
2 Conceitos e trabalho relacionado	3
2.1 Realidade Aumentada	3
2.2 Building Information Models	3
2.3 <i>Design</i> apoiado por computador	4
2.4 Técnicas de alinhamento	4
2.4.1 Alinhamento baseado em marcas	4
2.4.2 Alinhamento sem marcas	5
2.4.3 Alinhamento baseado em GPS e Sensores	6
2.5 Automatizar a criação de BIM	7
2.6 <i>Redlining</i> virtual para engenharia civil em ambientes reais	7
2.7 Sistema de manutenção de RA baseado em BIM (BARMS) como uma plataforma de instrução inteligente para canalizações complexas	8
2.8 Conclusão	9
3 Ferramentas para implementação de Realidade Aumentada	11
3.1 Dispositivos de Realidade Aumentada	11
3.1.1 Heads up displays	11
3.1.2 Ecrãs holográficos	12
3.1.3 Smart Glasses	13
3.1.4 Handheld AR	14

3.2	SDK de Realidade Aumentada	14
3.2.1	ARKit	15
3.2.2	ARCore	15
3.2.3	Vuforia	16
3.2.4	Wikitude	17
3.2.5	EasyAR	17
3.3	Aplicações de criação de modelos para construção civil	18
3.3.1	Autodesk AutoCAD	19
3.3.2	Autodesk Revit	19
3.3.3	Graphisoft ArchiCAD	19
3.4	Escolha do tipo de dispositivo e ferramentas	20
3.4.1	Escolha do tipo de dispositivo	20
3.4.2	Comparação dos SDKs	21
3.4.3	Escolha do SDK	21
3.4.4	Escolha da aplicação CAD	22
3.5	Conclusão	23
4	Desenvolvimento da solução	25
4.1	Primeira aplicação de teste do ARCore	25
4.1.1	Objetivo do uso da aplicação	25
4.1.2	Funcionamento da aplicação	25
4.1.3	Incrementos à aplicação de teste	26
4.1.4	Análise	26
4.2	Criação do modelos BIM	27
4.2.1	Uso da aplicação ArchiCAD	27
4.2.2	Modelação dos espaços	28
4.2.3	Criação das Canalizações	30
4.2.4	Exportação dos Modelos das Canalizações	32
4.3	Aplicação para visualizar as canalizações	32
4.3.1	Apresentação do modelo do ArchiCAD	32
4.3.2	Alinhamento dos modelos	33
4.3.3	Introdução dinâmica dos dados	36
4.4	Conclusão	37
5	Avaliação	39
5.1	Teste da aplicação	39
5.1.1	Guião de tarefas	39
5.1.2	Questionário	40
5.1.3	Participantes	41
5.1.4	Sessões de testes	41

5.1.5	Resultados dos testes	43
5.2	Conclusão	45
6	Conclusão e trabalho futuro	47
6.1	Conclusão	47
6.2	Trabalho Futuro	47
	Bibliografia	57
A	Ficheiro de dados de um edifício	59
A.1	XML Schema dos ficheiro de dados	59
A.2	Exemplo de ficheiro de dados	61
B	Questionário	63

Lista de Figuras

2.1	<i>Milgram's Reality-Virtuality Continuum</i> [43]	3
2.2	Exemplo de uma aplicação que usa marcas fiduciais para o alinhamento [24].	5
2.3	Exemplo do uso de SLAM como técnica de alinhamento [25].	6
2.4	Demonstração da ferramenta de escavação que permite a percepção da posição dos elementos enterrados em três dimensões [54]	8
2.5	Exemplo de um fluxo de utilização do BARMS [20]	9
3.1	Exemplo de utilização de um Heads-up Display [19]	12
3.2	Exemplo de um ecrã holográfico [21]	12
3.3	Funcionamento dos tipos de smart glasses [32]	14
3.4	Aplicação demo do ARKit [44].	15
3.5	Aplicação ARCore Elements [40].	16
3.6	Exemplo de utilização do SDK Vuforia [56].	16
3.7	Exemplo de utilização da deteção de planos do Wikitude [74].	17
3.8	Exemplo de utilização do EasyAR Sense [51].	18
4.1	ARCore a identificar superfícies	26
4.2	Peão adicionado pelo ARCore	26
4.3	Cubo criado através do Blender	27
4.4	Interface inicial do ArchiCAD	28
4.5	Primeira linha guia	29
4.6	Segunda linha guia	29
4.7	Primeira parede adicionada	30
4.8	Paredes completamente adicionadas	30
4.9	Menu de MEP Routing	31
4.10	Modelo com Canalizações	31
4.11	Apresentação do modelo gerado pelo ArchiCAD	32
4.12	Alinhamento usando a porta	34
4.13	Modelo das canalizações com os cantos adicionados	35
4.14	Apresentação dos canos e botões de ajuste	35
4.15	Página de escolha do edifício	36

4.16	Página de escolha da divisão	36
5.1	Modelos com cores diferentes	42
5.2	Janela de ajuda com legenda	42
5.3	Página de instruções antes da experiência de RA	43
5.4	Página de alinhamento com a porta	43
5.5	Apresentação do retângulo na posição da porta	44

Lista de Tabelas

3.1	Comparação dos dispositivos suportados pelas ferramentas	21
3.2	Comparação dos formatos 3D suportados pelas ferramentas	21
3.3	Comparação das plataformas suportadas pelas ferramentas	21
3.4	Comparação dos tipos de licenças	22
4.1	Dimensões dos espaços para teste da aplicação	29
5.1	Média de cada categoria por voluntário	45

Acrónimos

2D 2 dimensões. 7, 19

3D 3 dimensões. xvii, 8, 16, 19, 21, 23, 26, 28, 32

API Application programming interface. 17

BIM Building information models. ix, x, 3, 4, 7, 8, 19, 22, 27, 48

CAD Computer-aided design. x, 4, 19, 22

GPS Global positioning system. ix, 4, 6–8, 22

HMD Head mounted display. 8

HUD Heads up display. 11, 13

IFC Industry foundation classes. 4, 19

IMU Inertial measurement unit. 6–8, 15

iOS Iphone operating system. 15–17, 21, 48

LiDAR Light detection and ranging. 15, 16

OBJ Wavefront .obj file. 19, 32, 48

RA Realidade aumentada. ix, xiv, 2, 3, 8, 9, 11, 13, 14, 20, 22, 23, 25, 37, 42, 43, 47

RV Realidade virtual. 13

SDK Software development kit. x, xiii, 6, 11, 14–19, 21–23, 48

SLAM Simultaneous location and mapping. xiii, 5, 6, 8, 15, 17, 22

SO Sistema operativo. 15

SUS System Usability Scale. 40, 45, 47, 48

UWP Universal Windows Platform. 16

VA Virtualidade aumentada. 3

XML Extensible Markup Language. 36, 37, 48

Capítulo 1

Introdução

Neste capítulo é apresentada a motivação para a realização deste projeto, os seus objetivos e a organização deste documento.

1.1 Motivação

Os edifícios precisam de ser constantemente renovados ou alterados, seja por um motivo simples como pendurar um quadro, ou mais complexo como uma fuga de água. Atividades deste tipo implicam muitas vezes fazer furos nas paredes, o que potencia o risco de danificar tubos que estão embutidos na parede (água, eletricidade, gás, entre outros).

Embora tenham já sido criados aparelhos de deteção para evitar estes problemas, os mesmos podem ser afetados por interferências (ondas eletromagnéticas, rede elétrica, entre outros) e funcionam apenas em canalizações metálicas, que, geralmente, apenas estão presentes na instalação de eletricidade.

Os planos técnicos que deveriam ter a informação do local onde passam essas canalizações raramente são atualizados caso, por algum motivo, não sejam colocadas no mesmo local onde estavam previstos inicialmente. Para além disto, a leitura de documentos técnicos pode não ser fácil para o utilizador comum [20]. Desta forma, é difícil ter a certeza de que não se está a perfurar na direção de um cano.

1.2 Objectivos

Tendo em conta o problema mencionado na subsecção 1.1, este trabalho tem como principal objetivo a criação de uma aplicação móvel que permita ver em Realidade Aumentada a informação do local onde as canalizações passam dentro de uma parede ou chão, procurando ultrapassar as limitações apontadas.

No desenvolvimento desta aplicação, é necessário ter em conta o seu contexto de utilização. Desta forma, o facto de a aplicação poder ser usada tanto para contextos profissionais, como por exemplo reparar um fuga de água, como para contextos não profis-

sionais, como pendurar um quadro, faz com a aplicação possa ser usada por utilizadores peritos e não peritos. Sendo assim, a utilização de realidade aumentada facilita a leitura por qualquer tipo de utilizador, por ser fácil de interpretar a localização através de objetos virtuais sobrepostos ao mundo real.

1.3 Contribuições

Neste projeto foi criada uma aplicação para dispositivos móveis que permite a visualização de estruturas inseridas nas paredes, tetos e chão dos edifícios com recurso a RA. Estas estruturas são sobrepostas à imagem captada pela câmara na posição onde estão na realidade.

No desenvolvimento da aplicação foram escolhidas soluções para os seguintes desafios:

- Escolha da técnica de alinhamento de RA mais apropriada para espaços fechados e com restrições de movimentos, como as divisões de um edifício;
- Criação dos modelos das estruturas a serem apresentados com posições relativas à estrutura do edifício;
- Ajuste dos modelos para terem melhores pontos de referência para o utilizador;
- Posicionamento dos modelos relativamente à posição do utilizador;
- Integração de diferentes modelos a serem apresentados simultaneamente.

1.4 Estrutura do documento

Os próximos capítulos deste documento estão organizados da seguinte forma:

- No capítulo 2 explicam-se alguns conceitos nucleares deste trabalho necessários para o compreender na sua totalidade bem como a pesquisa realizada;
- No capítulo 3 apresenta-se uma análise das ferramentas para implementação deste trabalho;
- No capítulo 4 apresenta-se o desenvolvimento da aplicação, explicam-se as decisões tomadas e os desafios enfrentados;
- No capítulo 5 descrevem-se os testes com utilizadores para a avaliação da aplicação e apresentam-se os resultados obtidos;
- No capítulo 6 apresenta-se um resumo dos resultados deste trabalho bem como possíveis melhorias futuras para a aplicação.

Capítulo 2

Conceitos e trabalho relacionado

Neste capítulo são apresentados conceitos nucleares a este projeto (secções 2.1 a 2.4 bem como trabalhos relacionados que ajudaram na escolha da implementação do projeto (secções 2.5 2.7).

2.1 Realidade Aumentada

A Realidade Aumentada (RA) refere-se à visualização direta ou indireta de um ambiente do mundo real, melhorado / aumentado com informação virtual adicionada, combinando o mundo real com o virtual [18, 12]. O *Milgram's Reality-Virtuality Continuum* (ver Figura 2.1) definido por Paul Milgram e Fumio Kishino [43] refere que entre o ambiente real e o ambiente virtual estão a realidade aumentada e a virtualidade aumentada (VA), sendo que a RA está mais próxima do mundo real e a VA está mais próxima do mundo virtual [43].

Os objetos virtuais adicionados ao ambiente real mostram informação que o utilizador não pode visualizar diretamente usando os sentidos [18]. A informação fornecida pelos objetos virtuais pode ajudar o utilizador a realizar tarefas [18], como por exemplo guiar os utilizadores para fazer manutenções em contexto industrial [20].

2.2 Building Information Models

Os Building Information Models (BIM) são modelos que podem ser usados para apoio das fases do planeamento, da construção e da manutenção de estruturas [75]. Estes modelos seguem o standard internacional ISO 19650-1:2018 [1] e incluem informação sobre

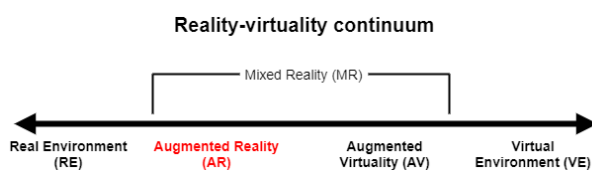


Figura 2.1: *Milgram's Reality-Virtuality Continuum* [43]

os vários elementos de uma estrutura, tais como paredes, portas, janelas, canalizações de água, canalizações de eletricidade, entre outros, permitindo a geração de um modelo tridimensional detalhado com essas informações [67].

2.3 *Design* apoiado por computador

Design apoiado por computador (Computer Aided Design - CAD) é definido como o uso de sistemas computacionais para criação, manipulação e análise de um *design* [33]. Esta definição aplica-se a várias áreas [68], mas este trabalho apenas se foca nas aplicações na área da arquitetura e engenharia. Uma das aplicações CAD mais conhecidas desta área é o AutoCAD [10] que permite a criação de plantas bidimensionais de edifícios, bem como um modelo tridimensional dessas plantas, oferecendo também capacidades de renderização desses modelos [10] de modo a obter uma melhor visualização. Uma outra aplicação usada neste contexto é o ArchiCAD [30] que permite a criação e manipulação de modelos BIM (ver Secção 2.2) no formato não-proprietário Industry Foundation Classes (IFC), o mais usado pela indústria para representação de modelos BIM.

2.4 Técnicas de alinhamento

As técnicas de alinhamento têm como objetivo alinhar o mundo real com os objetos adicionados virtualmente.

Li et al. [35] apresenta uma análise entre os tipos de alinhamento e os tipos de plataforma usados por algumas aplicações de realidade aumentada aplicada a várias áreas.

Vários tipos de técnicas podem ser usados, sendo que estes podem ser divididos em três categorias, nomeadamente, alinhamento baseado em marcas, alinhamento sem marcas e alinhamento baseado em GPS e Sensores [35]. Uma análise a cada uma destas categorias é agora apresentada. De referir que esta análise apenas inclui aplicações da área de engenharia civil e urbana.

2.4.1 Alinhamento baseado em marcas

O alinhamento baseado em marcas depende da colocação no ambiente real de marcas distinguíveis, designadas *Marcas Fiduciais* [16]. Estas marcas podem ser categorizadas como ativas ou passivas. As marcas ativas emitem um sinal que pode ser detetado por um sensor. As marcas passivas são geralmente padrões que podem ser facilmente identificados e isolados do ambiente (por exemplo, QR codes), por meio de uma câmara.

Tendo a posição das marcas fiduciais determinada, os elementos virtuais podem ser adicionados usando essas posições. A figura 2.2 mostra o exemplo de uma aplicação que usa uma marca fiducial como forma de alinhamento para adicionar uma casa virtual à imagem do mundo real.



Figura 2.2: Exemplo de uma aplicação que usa marcas fiduciais para o alinhamento [24].

As grandes vantagens deste tipo de alinhamento são o facto de ser computacionalmente pouco exigente e de conseguir produzir resultados estáveis mesmo usando uma câmara de baixa resolução [35]. Apesar disto, das nove aplicações da área de engenharia civil e urbana analisadas, apenas uma usa este tipo de alinhamento. Isto acontece porque o alinhamento baseado em marcas obriga à introdução das Marcas Fiduciais necessárias no ambiente, criando "poluição" visual que deve ser evitada neste contexto [35].

2.4.2 Alinhamento sem marcas

O alinhamento sem marcas tem como objetivo usar características já presentes no ambiente para determinar a posição e ângulo da câmara [35]. A cada *frame* têm de ser definidos pontos de interesse na imagem que são representados por descritores. A escolha dos pontos de interesse é de extrema importância, uma vez que são estes pontos que são usados para fazer o alinhamento. Lowe [36] descreve as características que os pontos de interesse, e os seus descritores, devem ter para serem apropriados a efetuar a comparação entre diferentes imagens de um objeto ou cena. Os pontos de interesse devem ser visivelmente distintos da área ao seu redor e com textura suficiente [31]. Estes pontos de interesse são depois guardados numa base de dados designada *Feature Map* (FM), sendo a criação da mesma o maior custo deste tipo de alinhamento [34]. Apesar da vantagem de não poluir visualmente o ambiente, este de tipo alinhamento tem duas principais limitações [34]: (1) A recolha dos pontos de interesse é um processo que consome bastante tempo, uma vez que é necessário ir aos diferentes pontos para recolher a informação; (2) a informação contida no FM é fixa, sendo que no contexto de engenharia o ambiente tem tendência a alterar-se ao longo do tempo, podendo modificar a qualidade do alinhamento.

Desta categoria fazem parte os Algoritmos de Localização e Mapeamento Simultâneos (Simultaneous Localization and Mapping - SLAM), uma técnica que permite o mapeamento do ambiente através da observação do mundo circundante [16] podendo ser usado para localizar o utilizador no ambiente, bem como alinhar os objetos virtuais com o



Figura 2.3: Exemplo do uso de SLAM como técnica de alinhamento [25].

mundo real. Esta é a técnica de alinhamento usada pela maioria dos *Software Development Kit* (SDK) mais conhecidos [28, 49, 74, 23]. Na figura 2.3 é apresentado um exemplo de uma aplicação que usa este tipo de alinhamento, esta aplicação foi criada por Fernandes [25].

Este tipo de alinhamento tem uma maior utilização em aplicações da área de engenharia civil e urbana do que o alinhamento baseado em marcas (Subsecção 2.4.1), sendo que três das nove aplicações analisadas usam o alinhamento sem marcas, contra uma única que usa o alinhamento baseado em marcas, o poderá ser atribuído ao facto de não ser necessário nenhum tipo de dispositivo extra para além do que é usado para observar o ambiente melhorado (smartphone, *Head-mounted display*, entre outros) e, portanto, não obrigar à adição de marcas ao ambiente. Ainda assim não é o mais usado na aplicações analisadas por implicar a um grande consumo de tempo de processamento e energia.

2.4.3 Alinhamento baseado em GPS e Sensores

O alinhamento baseado em GPS e sensores usa os dados do sistema de posicionamento global (GPS), bem como de redes *wireless*, e sensores de medida inercial (Inertial Measurement Unit - IMU), como o acelerómetro, o giroscópio, a bússula, entre outros. Os dispositivos como smartphones e tablets estão atualmente equipados com estes e outros tipos de sensor [35]. O GPS permite estimar a posição dos utilizadores, no entanto a sua precisão é geralmente entre 1 m e 5 m, no caso dos smartphones e tablets [35] e a sua precisão diminui bastante em casos em que ocorra um bloqueio dos sinais de GPS [60] tal como espaços que estão total ou parcialmente cobertos por estruturas de edifícios, densas áreas urbanas com edifícios altos, e em ambiente subterrâneo [34].

A maioria das aplicação da área de engenharia civil e urbana analisadas usa este tipo de alinhamento.

2.5 Automatizar a criação de BIM

Normalmente os modelos BIM são criados manualmente aquando do desenho e construção do edifício usando como base as suas plantas bidimensionais, podendo ser usado como apoio a essas atividades, bem como ter um uso comercial de mostrar ao cliente como é que o seu edifício poderá ficar quando estiver construído. Deste modo, é necessária a criação de dois modelos diferentes (plantas e modelo BIM) que requerem um conhecimento em áreas diferentes, o que consome tempo e recursos humanos. A criação automática de modelos BIM tem sido alvo de investigação [37, 50], centrando-se a maioria em três campos: (1) captura do ambiente com laser e fotogrametria para modelos com elevado nível de detalhe; (2) passagem de modelos tridimensionais para BIM; e (3) conversão automática de planos 2D para BIM.

Bortoluzzi et al. [15] propõem um sistema indicado para edifícios existentes, que permite criar um modelo base com o mínimo de geometria, contento apenas as divisões por piso, podendo ser adicionados outros elementos onde seja necessário para casos de uso específicos. A informação semântica sobre o que cada divisão representa (quarto, cozinha, etc.) pode ser adicionada com recurso a um sistema de *Computer-aided facility management* (CAFM) [15]. Estes sistemas são bastante usados por equipas de manutenção para suporte das suas operações, cálculo de custos e criação de uma base de dados que facilite a rápida tomada de decisões por parte da equipa de manutenção e pela empresa [48].

2.6 Redlining virtual para engenharia civil em ambientes reais

Schall et al. [54] criaram uma aplicação de realidade aumentada com o intuito de permitir aos trabalhadores de empresas de serviços públicos visualizar a localização das canalizações nas ruas, bem como possíveis anotações. A anotação dos planos quando alterações são efetuadas é geralmente referida como *redlining*. Os dados obtidos por estas aplicações provêm de sistemas de informação geográfica (geographic information systems - GIS), bastante usados por estas equipas. De modo a melhorar a representação dos elementos virtuais em terrenos irregulares, foram usados modelos digitais do terreno (digital terrain models - DTM). A adição indiscriminada de informação não visível ao mundo real cria problemas de perceção da profundidade que foram mitigados nesta aplicação com a implementação de uma ferramenta de escavação, simulando um buraco virtual no terreno que permite identificar a posição tridimensional dos elementos, como é possível ver na figura 2.4.

A aplicação usa GPS e dados de IMU para localizar o utilizador e alinhar os elementos virtuais nessa posição. À altura da implementação desta aplicação, os dispositivos com recetores GPS não era comuns. Por esta razão, no seu trabalho, os investigadores

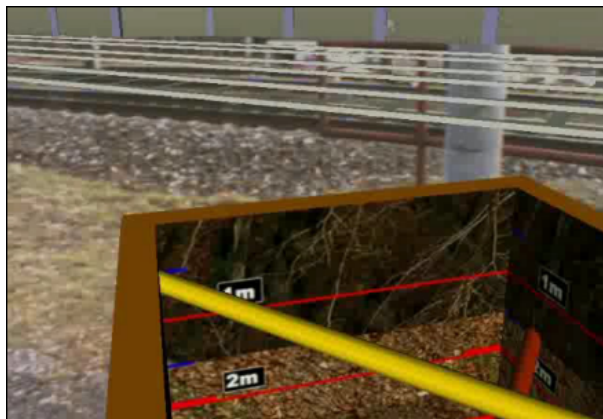


Figura 2.4: Demonstração da ferramenta de escavação que permite a percepção da posição dos elementos enterrados em três dimensões [54]

criaram um dispositivo usando um Ultra Mobile PC, uma capa com dois *joysticks*, um recetor GPS, sensores IMU e uma câmara. Hoje em dia este tipo de alinhamento é usado em várias aplicações de realidade aumentada em exterior, uma vez que a maioria dos dispositivos estão equipados de recetores GPS e a sua precisão tem vindo a aumentar. No entanto, o seu uso no interior e em zonas urbanas densas é pouco comum porque a precisão reduz drasticamente [35].

2.7 Sistema de manutenção de RA baseado em BIM (BARMS) como uma plataforma de instrução inteligente para canalizações complexas

O objetivo do trabalho de Diao e Shih [20] foi a criação de um sistema de manutenção baseado em BIM para uso numa torre de refrigeração e suas canalizações. Podendo o sistema ser usado tanto no interior como no exterior, o uso de GPS foi descartado, sendo escolhido o alinhamento baseado em imagens. Os *head-mounted displays* (HMD) não foram escolhidos como plataforma de realidade aumentada por poderem afetar a percepção do utilizador e criar problemas de segurança em áreas industriais. Dispositivos móveis são os mais indicados para tarefas de manutenção [47, 59], sendo o *smartphone* a escolha dos autores deste trabalho [20].

A aplicação contém quatro funcionalidades principais [20]: (1) possibilidade do uso de SLAM e alinhamento sem marcas em condições de pouco luminosidade; (2) apresentação das canalizações e entidades (válvulas, torneiras, etc.); (3) apresentação de uma rota segura para a equipa de manutenção realizar o seu trabalho; e (4) apresentação de um guia de manutenção 3D animado. O teste com utilizadores demonstrou que o sistema foi capaz de melhorar a segurança e eficiência das equipas de manutenção na realização das tarefas criadas. Uma demonstração do fluxo da aplicação num dos casos testados é apresentada

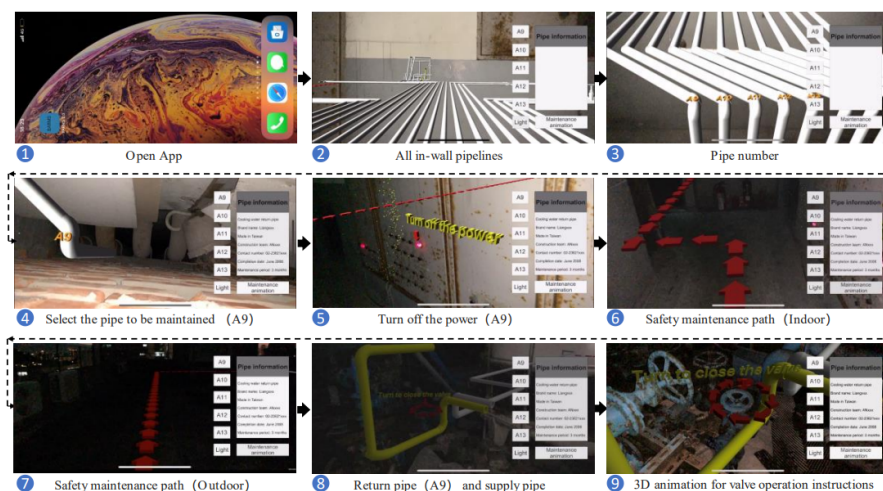


Figura 2.5: Exemplo de um fluxo de utilização do BARMS [20]

na figura 2.5.

O problema descrito e resolvido por Schall et al. [54] (ver Subsecção 2.6) da percepção de profundidade é visível nesta aplicação, como por exemplo no passo 6 da figura 2.5 em que as setas que deveriam estar ocultadas pela parede real aparecem por cima dela, sendo uma solução para este problema desejável. Para além disto, o uso da aplicação no âmbito industrial não contempla alguns desafios do uso comercial, como a possibilidade do uso da aplicação por utilizadores que não são peritos nas tarefas que estão a realizar e o facto de as canalizações industriais tenderem a ser bastante maiores do que as domésticas podendo representar um maior problema na sua apresentação.

2.8 Conclusão

A investigação feita permitiu identificar que o uso de realidade aumentada no contexto da arquitetura e engenharia já foi feito em algumas investigações, no entanto, muitos estão numa fase inicial para além de poucos se destinarem ao uso doméstico bem como a ser usados por utilizadores sem experiência na área. Ainda assim, as técnicas usadas, os problemas encontrados e a forma de os resolver são conhecimentos importantes para o desenvolvimento deste projeto.

O capítulo seguinte explora as ferramentas necessárias para implementação deste tipo de experiência de RA.

Capítulo 3

Ferramentas para implementação de Realidade Aumentada

O desenvolvimento deste projeto envolve a utilização de um dispositivo onde a experiência de RA é apresentada, um SDK de RA e o software de criação dos modelos das divisões a serem apresentados. Neste capítulo são analisadas várias possibilidades para cada um destes elementos.

3.1 Dispositivos de Realidade Aumentada

As experiências de realidade aumentada podem ser apresentadas em diversos dispositivos. Kore [32] divide os dispositivos de realidade aumentada em 4 categorias, analisadas em mais detalhe de seguida.

3.1.1 Heads up displays

Os Heads Up Display (HUDs) consistem em 3 partes: (1) um projetor; (2) um vidro onde aparecem as informações; e (3) um computador [32]. O computador define que informações devem ser apresentadas na experiência de RA. O vidro de visualização permite combinar as imagens emitidas pelo projetor com o mundo real.

Este tipo de dispositivo começou por ser usado em aeronaves militares nos anos 40 [45], sendo hoje em dia também usado em aeronaves comerciais e automóveis. O seu design é ideal para situações em que o utilizador está a realizar outras tarefas que exigem foco constante uma vez que permite apresentar informações mais perto do seu campo de visão.

Na imagem 3.1 é apresentado um exemplo de utilização de um HUD num cenário real, em que o próprio vidro do carro é usado como vidro de visualização. Como é possível observar, o condutor não tem de olhar para baixo para obter informações, permitindo manter a atenção na estrada durante mais tempo [2].

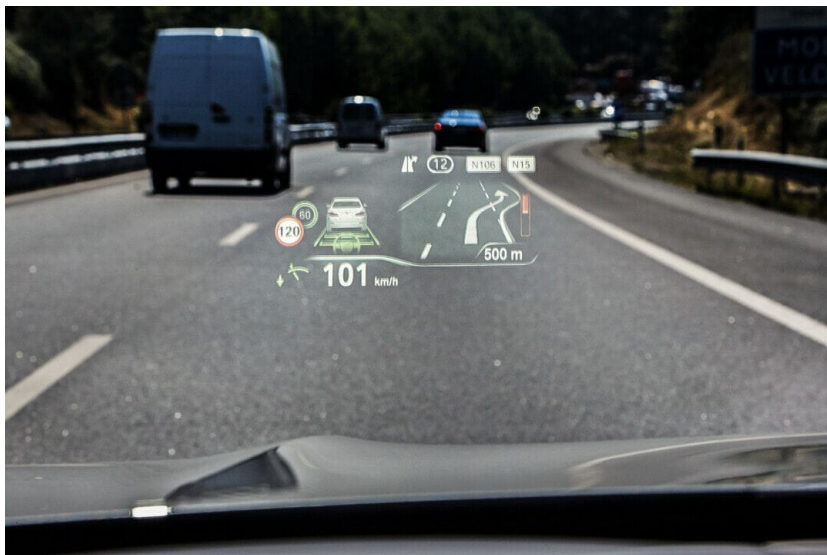


Figura 3.1: Exemplo de utilização de um Heads-up Display [19]

Este tipo de dispositivo funciona bem em situações em que a informação virtual não tem de ser visualmente alinhada com o mundo real, uma vez que a posição do utilizador em relação ao dispositivo altera a posição em que estas são combinadas. Isto acontece porque a posição da informação apresentada pelo dispositivo é fixa.

3.1.2 Ecrãs holográficos

Os ecrãs holográficos permitem visualizar imagens bidimensionais com efeito de profundidade usando paralaxe de movimento. Este tipo de dispositivo é composto por um emissor laser e uma tela de projeção que pode ser uma vitrina, uma película, uma cortina de água, entre outros, sendo que todos estes têm a característica de funcionarem como lentes que refletem a luz de forma a produzir uma imagem em várias direções. Na ima-



Figura 3.2: Exemplo de um ecrã holográfico [21]

gem 3.2 é possível visualizar a forma como uma fotografia de um pássaro parece ser um objeto tridimensional que flutua dentro da vitrina sendo possível observar esta imagem de qualquer orientação como se fosse de facto um objeto real. Apesar disto, estes dispositivos são pouco portáteis e sofrem do mesmo problema que os HUDs, não permitindo o alinhamento com o mundo real.

3.1.3 Smart Glasses

Os Smart Glasses são óculos que permitem apresentar experiências tanto de RA como de RV. Nesta categoria de dispositivos, a informação é colocada em frente aos olhos do utilizador e esta informação move-se de acordo com a posição dele. Esta categoria engloba dois tipos de dispositivos descritos em maior detalhe seguidamente.

Optical see through

Os óculos de realidade aumentada do tipo *optical see-through* funcionam de forma análoga aos Heads up displays (3.1.1), ou seja, o utilizador observa as informações virtuais refletidas através de um vidro que permite que o mundo real seja visível simultaneamente. A maioria dos óculos de realidade aumentada mais conhecidos usam esta tecnologia [42, 38, 29] uma vez que estes dispositivos permitem manter a resolução do mundo real intacta, para além de serem seguros permitindo ao utilizador visualizar o mundo real mesmo que ocorra alguma falha de energia [61]. A forma como este tipo de smart glass funciona na realidade é apresentado na figura 3.3a em que o utilizador consegue ver o mundo real através dos óculos ao mesmo tempo que vê a informação virtual.

Video see through

Os óculos de realidade aumentada do tipo *video see-through* são compostos por uma câmara e um ecrã. O mundo real é capturado pela câmara e à imagem digitalizada são sobrepostos os elementos virtuais. Sendo a realidade digitalizada, a remoção e adição de objetos da realidade é mais simples, incluindo por exemplo a substituição de marcas fiduciais por objetos virtuais [61]. Outra vantagem é a possibilidade de igualar o brilho e contraste dos objetos virtuais com o mundo real mais facilmente [61]. Apesar disto, o uso de câmaras e ecrãs faz com que a resolução da realidade seja menor, reduz o campo de visão do utilizador e potencia a desorientação do utilizador devido à diferença entre a posição da câmara e a posição dos olhos do utilizador [61]. Na figura 3.3b é demonstrado o esquema deste tipo de óculos, com a câmara a capturar a imagem do mundo real, permitindo que informação virtual lhe seja sobreposta e mostrada ao utilizador.



(a) Funcionamento dos óculos Optical-see-through

(b) Funcionamento dos óculos Video-see-through

Figura 3.3: Funcionamento dos tipos de smart glasses [32]

3.1.4 Handheld AR

Os dispositivos usados para RA *handheld* geralmente têm funcionalidades que não se limitam à apresentação de experiências deste tipo. As primeiras experiências com este tipo de dispositivo foi com personal digital assistants (PDA) [46, 26, 27] mas com a evolução dos smartphones com câmaras incorporadas e com capacidade computacionais elevadas, este tipo de dispositivo começou a ser bastante usado para experiências de RA.

O uso deste tipo de dispositivo permite o acesso alargado a experiências de RA visto que hoje em dia cerca de 83% da população mundial tem acesso a um smartphone [13] e um mínimo de 27% destes dispositivos tem capacidade para apresentar experiências de RA, podendo este número chegar aos 50% [53].

Um dos grandes problemas com o uso deste tipo de dispositivos é o facto de o utilizador ter as mãos ocupadas, fazendo com que a realização de operações que necessitem das duas mãos seja difícil. No entanto a familiaridade do utilizador com o dispositivo facilita a interação para utilizadores menos experientes.

3.2 SDK de Realidade Aumentada

Um SDK de realidade aumentada, refere-se ao *software* que permite o desenvolvimento e a criação de aplicações de RA [52]. O seu principal objetivo é a realização de tarefas não triviais na fusão do mundo virtual com o real.

Romelly [52] apresenta uma lista dos 12 SDK de realidade aumentada mais usados. Os primeiros 5 são aqui apresentados em mais detalhe.

3.2.1 ARKit

O ARKit é o SDK proprietário da Apple, sendo o seu uso exclusivo para dispositivos da marca. Ainda assim, apenas dispositivos com uma versão de iOS 11 ou superior e com os processador A9 ou superior têm acesso às funções do SDK, o que significa que apenas abrange dispositivos desenvolvidos após 2015. Contudo, em agosto de 2019 apenas 5% dos dispositivos móveis Apple usavam uma versão do iOS anterior à 11, sendo que este número terá diminuído ainda mais nos últimos anos com o lançamento de mais 4 versões, para além da 11. [55]

Este SDK usa VIO (Odometria Inercial e Visual) como técnica de alinhamento [52], combinando os IMU [4] com os dados obtidos pela câmara usando a técnica de SLAM [52]. Esta técnica permite um alinhamento rápido e estável, bem como a estimativa de planos tanto verticais (paredes), como horizontais (chão e mesas) [52]. Na figura 3.4 é apresentada a aplicação de demonstração deste SDK, que permite colocar um objeto virtual em cima de uma mesa real, podendo o utilizador escolher que objeto quer colocar.

A empresa, com o objetivo de alinhar e aplicar físicas do mundo real aos objetos virtuais, integrou nos seus *smartphones* um *scanner* LiDAR [5] que permite recolher informação de profundidade do ambiente pixel por pixel [3].

3.2.2 ARCore

O ARCore é o SDK proprietário da Google. Apesar disso, o SDK pode ser usado tanto em dispositivos com o sistema operativo Android (SO da Google) como com o sistema iOS (SO dos dispositivos móveis da Apple) [6]. Este SDK usa a técnica de SLAM para o alinhamento, combinando, tal como o ARKit (Subsecção 3.2.1), os dados dos IMU [7]. O programa permite a criação de um mapa de profundidades [8] ¹ possibilitando a colocação de objetos virtuais "atrás" de objetos reais, tornando a experiência de utilização mais *seamless* (ou seja, os objetos virtuais parecem pertencer ao mundo real). Uma ou-

¹Esta funcionalidade apenas está disponível em alguns dispositivos. Os dispositivos suportados estão disponíveis em [6]

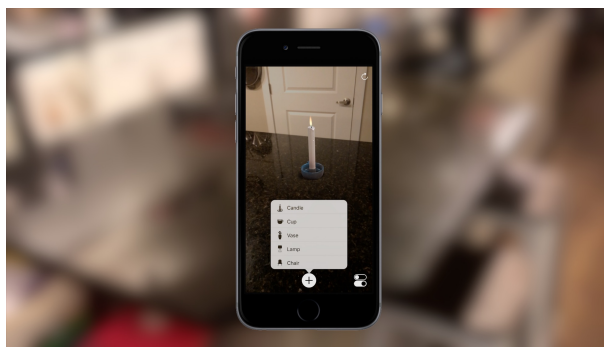


Figura 3.4: Aplicação demo do ARKit [44].



Figura 3.5: Aplicação ARCore Elements [40].

tra função interessante é a estimativa de luz que permite que os objetos virtuais simulem a iluminação do ambiente real em que estão a ser adicionados [9]. Este SDK tem uma aplicação de demonstração denominada ARCore Elements, que demonstra várias funcionalidades do SDK. A Figura 3.5 mostra um dos cenários da aplicação.

3.2.3 Vuforia

O Vuforia está disponível para uso nativo em Android, iOS, Universal Windows Platform (UWP) ou como uma extensão do Unity [64]. Suporta o alinhamento com imagens (adicionar elementos a imagens do mundo real como uma revista ou a caixa de um produto), o alinhamento com objetos e o alinhamento com ambientes ² [65]. Para o alinhamento com objetos, este SDK suporta duas técnicas [65] (1) usando modelos 3D do objeto do mundo real onde vão ser adicionados os elementos virtuais, permitindo ao SDK alinhar o objeto real com o modelo virtual que o representa; e (2) digitalizando o objeto com o *scanner* da marca, sendo que esta opção é indicada para objetos com bastantes detalhes e com texturas e cores fáceis de distinguir. Quanto ao alinhamento com ambientes, o Vuforia disponibiliza uma aplicação que permite a digitalização de ambientes, podendo posteriormente esta digitalização ser usada para alinhar elementos virtuais adicionados a

²Apenas disponível para dispositivos Apple com LiDAR [62]



Figura 3.6: Exemplo de utilização do SDK Vuforia [56].

esse ambiente [65]. Na figura 3.6 é apresentado um exemplo de utilização do alinhamento em imagens, em que à imagem dos sapatos na revista é adicionado um modelo e um menu virtuais que permitem escolher a cor dos sapatos.

3.2.4 Wikitude

O SDK Wikitude oferece suporte para Android, iOS e Windows usando uma biblioteca nativa, tendo também disponíveis extensões para Unity, Cordova, Flutter e Xamarin [69]. Este SDK permite o uso de imagens como alvo para o alinhamento, sendo que estas imagens devem ser pré-processadas para serem convertidas num ficheiro WTC (Wikitude Target Collection) [70]. Para o alinhamento, é usada uma API denominada SMART (Seamless AR Tracking) que integra a técnica de SLAM oferecida pelo ARKit, ARCore e Wikitude num único SDK [73]. Para além de imagens, também é possível o alinhamento com o uso de objetos como alvo, sendo que a informação do objeto tridimensional é extraída a partir de um vídeo e convertida no formato WTO (Wikitude Object Target Collection) [71].

Para renderização, este SDK usa OpenGL por omissão, mas permite ao utilizador usar outro método ou criar o seu próprio e integrá-lo com o Wikitude [72].

A função de deteção de planos (chão, mesas, paredes, rampas, entre outros) ainda está em modo experimental [73], mas um exemplo do seu uso apresenta-se na figura 3.7, em que é possível ver que a parede e chão estão a ser identificados e uma malha de cor diferente está a ser sobreposta virtualmente a cada um deles.

3.2.5 EasyAR

O EasyAR Sense, nome da versão mais recente do SDK EasyAR, tem suporte para Android e iOS, além de uma biblioteca na linguagem C# [22, 41] que pode ser usada no Unity. Na sua versão mais recente, tem suporte para seis algoritmos nomeadamente [22]

- *ImageTracker* que permite o alinhamento através de uma imagem estática;



Figura 3.7: Exemplo de utilização da deteção de planos do Wikitude [74].



Figura 3.8: Exemplo de utilização do EasyAR Sense [51].

- *ObjectTracker* que permite o alinhamento através de um objeto tridimensional;
- *SurfaceTracker* que faz o reconhecimento de superfícies dando a possibilidade de as usar para alinhar os objetos virtuais;
- *SparseSpatialMap* que oferece a possibilidade de gerar uma nuvem de pontos de um espaço, podendo ser usada para posicionamento em tempo real;
- *CloudRecognizer* que permite ao utilizador ter as imagens a serem usadas como alvo numa *Cloud* de modo a que o utilizador possa guardar vários milhares de imagens como alvo e poder usá-las ao mesmo tempo na mesma app, ou até mesmo em apps diferentes [63];
- *DenseSpatialMap* que gera uma nuvem de pontos densa que pode ser usada na deteção de colisões ou eliminação de invisíveis (colocar parte de um objeto virtual "atrás" de um objeto real, fazendo com que a parte oculta pelo objeto real não apareça na imagem).

Na figura 3.8 é possível ver uma aplicação que usa este SDK para sobrepor a uma imagem alvo (a imagem a amarelo) um objeto tridimensional (o cubo azul com a letra 'E'), fazendo uso do *ImageTracker* oferecido pelo EasyAR.

3.3 Aplicações de criação de modelos para construção civil

Os modelos que são apresentados ao utilizador devem ser criados de alguma forma, sendo que idealmente deve ser usado um programa que já seja utilizado para desenho de estruturas, permitindo a fácil conversão dos modelos criados nestes programas para modelos

suportados pela aplicação. De seguida são apresentados 3 programas comumente usados neste contexto.

3.3.1 Autodesk AutoCAD

O Autodesk AutoCAD [10] é das aplicações mais usadas no contexto da arquitetura de edifícios. É especialmente indicado para desenhos 2D e anotação de plantas, permitindo também visualizá-las como modelos tridimensionais. Inclui também ferramentas para colaboração em equipa. No entanto, não tem a possibilidade de trabalhar diretamente em BIM, para além de requerer um licença paga para ser usado.

3.3.2 Autodesk Revit

No contexto de desenvolvimento de modelos BIM, o Revit [11] é um dos softwares mais completos. Permite projetar edifícios, incluindo a sua estrutura e componentes em 3D, apoiando o seu planeamento, construção e manutenção. Sendo da mesma empresa, existe a possibilidade de importar plantas do AutoCAD, fazendo com que as equipas de arquitetura possam desenhar as plantas inicialmente no AutoCAD e o resto do processo de planeamento seja realizado com o Revit, tendo acesso às funcionalidades dos modelos BIM. Também é bastante usado para mostrar ao cliente um modelo realista de como o edifício ficará, permitindo o uso de modelos externos para os componentes do BIM, como portas e mobília, de modo a facilitar a sua escolha.

Em paralelo com o AutoCAD, o Revit tem também o problema de usar licenças pagas para o seu uso. Além disto, não permite exportar para modelos de uso livre, impedindo a sua utilização direta nos SDK de realidade aumentada.

3.3.3 Graphisoft ArchiCAD

Tal como as ferramentas apresentadas anteriormente, o ArchiCAD [30] oferece soluções para lidar muitos dos desafios relacionados com arquitetura, engenharia e estética ao longo do ciclo de vida de edifícios. Este software é considerado o primeiro produto CAD com capacidade para gerar modelos 2D, bem como modelos 3D comercialmente em computadores pessoais. Possui varias funcionalidades como a produção de desenhos técnicos em 2D e a sua representação em 3 dimensões, permitindo, tal como o Revit, rederização realista dos modelos 3D e a sua posterior visualização.

A grande diferença em relação ao Revit inside nos formatos exportáveis a partir desta ferramenta, que inclui vários formatos *open source* como OBJ e IFC, que é o mais usado para guardar informação de modelos BIM, sendo a Graphisoft uma das fundadoras do conceito de Open BIM, que visa permitir a troca de dados BIM entre diferentes plataformas *open source*.

Este software possui licenças comerciais e também educacionais, permitindo o seu uso gratuito a estudantes de ensino superior.

3.4 Escolha do tipo de dispositivo e ferramentas

3.4.1 Escolha do tipo de dispositivo

Os heads up displays fornecem uma forma muito simples de sobrepor informação ao mundo real sendo apenas necessário um ecrã e um vidro para visualizar as informações, no entanto a dificuldade de alinhar os elementos virtuais com o mundo real faz com que o seu uso no contexto deste trabalho seja impossível, visto que o alinhamento dos modelos virtuais das canalizações com a sua posição real é um requisito fundamental. O mesmo se aplica aos ecrãs holográficos.

As grandes vantagens dos smart glasses como a facilidade de interação e a possibilidade do seu uso em mãos livres que permitiria ao utilizador efetuar as tarefas de manutenção ao mesmo tempo que observa a informação virtual, tornam-no numa solução apelativa. No entanto, tendo em conta casos de uso mais simples como pendurar um quadro ou outras tarefas geralmente efetuadas por utilizadores não peritos faz com que seja pouco viável a sua utilização uma vez que poucos destes utilizadores teriam acesso, tendo em conta que em 2021 apenas cerca de quatro centos e dez mil unidades de óculos de realidade aumentada foram vendidos em todo o mundo. Para além disto, no contexto deste trabalho não havia a possibilidade de ter acesso a este tipo de equipamento.

Os dispositivos *handheld* como os smartphones oferecem uma forma de todos os tipos de utilizador acederem facilmente a experiências de realidade aumentada dado o seu uso generalizado para outros fins tal como descrito na secção 3.1.4. O uso destes dispositivos garante um acesso ao maior número de utilizadores possível, tendo também a vantagem de ser uma interface familiar à maioria dos utilizadores para além de, tal como os smart glasses, permitir que o utilizador observe todo o que está à sua volta apontando o dispositivo para a posição que quer observar.

Desta forma, foi escolhida a categoria de dispositivos handheld, no entanto esta escolha também apresenta alguns desafios como o alinhamento dos modelos virtuais com a imagem captada pela câmara e o facto de não permitir ao utilizador utilizar as suas mãos enquanto observa a experiência de RA. Ainda no contexto do dispositivo a ser usado, para efeitos de teste, neste projeto apenas estava disponível um smartphone e um tablet Android, ambos com suporte para o ARCore, sendo que foi decidido que o uso do tablet seria mais vantajoso, uma vez que o ecrã maior torna mais fácil a recolha, pelo utilizador, da informação apresentada.

3.4.2 Comparação dos SDKs

De forma a determinar qual dos SDKs apresentados na secção 3.2 seria usado para o desenvolvimento da aplicação, foram criados 4 critérios de comparação separados em tabelas: os dispositivos suportados na tabela 3.1, os formatos de modelos 3D suportados na tabela 3.2, as plataformas suportadas na tabela 3.3 e por fim as licenças na tabela 3.4.

Tabela 3.1: Comparação dos dispositivos suportados pelas ferramentas

	Smartphones	Tablets	Computadores	Smart Glasses
ARKit	✓	✓		
ARCore	✓	✓		
Wikitude	✓	✓	✓	✓
Vuforia	✓	✓		
EasyAR	✓	✓	✓	

Tabela 3.2: Comparação dos formatos 3D suportados pelas ferramentas

	.dae	.obj	.glb/.gltf	.cad
ARKit	✓	✓		
ARCore		✓	✓	
Wikitude			✓	✓
EasyAR		✓		

Tabela 3.3: Comparação das plataformas suportadas pelas ferramentas

	Android	iOS	MacOS	Windows	Unity
ARKit		✓	✓		✓
ARCore	✓	✓			✓
Vuforia	✓	✓		✓	✓
Wikitude	✓	✓		✓	✓
EasyAR	✓	✓		✓	✓

3.4.3 Escolha do SDK

Tal como descrito na secção 3.4.1, será usado um tablet Android para teste. Como é possível verificar na tabela 3.1, todos os SDKs suportam smartphones e tablets, no entanto na tabela 3.3 verifica-se que o ARKit (Secção 3.2.1) não é suportado pelo Android, não sendo, por isso, possível a sua utilização.

Tendo em conta que não haveria a possibilidade de adquirir licenças de software, apenas SDKs com código aberto ou licença gratuita podem ser considerados. De acordo com a tabela 3.4 apenas dois SDKs cumprem estes requisitos: o ARCore (Secção 3.2.2) e o EasyAR (Secção 3.2.5).

Tabela 3.4: Comparação dos tipos de licenças

	Código Aberto	Licença Gratuita	Licença Paga
ARKit		✓	
ARCore	✓		
Vuforia			✓
Wikitude			✓
EasyAR		✓	✓

Considerando as vantagens e desvantagens das técnicas de alinhamentos apresentadas na secção 2.4, o alinhamento baseado em GPS não pode ser usado neste trabalho dada a utilização da aplicação em locais cobertos por estruturas de edifícios. O uso de alinhamento baseado em marcas também se mostra incompatível, visto que é pouco prático o utilizador ter de colocar marcas em locais específicos (ou tê-las permanentemente colocadas) cada vez que quer usar a aplicação. Senso assim, o alinhamento sem marcas é a opção escolhida para este projeto, em concreto o SLAM uma vez que é uma técnica que permite resultados bastante estáveis, para além de ser suportado por todos os SDKs.

Dos dois SDKs considerados, o EasyAR tem o problema de a tecnologia de SLAM apenas estar disponível na sua versão paga. Sendo assim, o ARCore foi escolhido como SDK a usar.

Ainda assim, existia a possibilidade de usar o motor de jogo Unity para desenvolver a experiência RA com o ARCore, no entanto, dada a experiência prévia de desenvolvimento em Android nativo, foi esta forma escolhida para desenvolver a aplicação.

3.4.4 Escolha da aplicação CAD

O AutoCAD, sendo o programa mais usado no contexto da arquitetura para desenho de plantas de edifícios, seria uma boa escolha para obter os modelos das canalizações uma vez que facilitaria o uso da aplicação por um maior número de utilizadores. No entanto, o principal problema centra-se nos formatos que o software permite gerar que, para além de não incluir .obj nem .gltf (suportados pelo ARCore), não inclui nenhum formato não proprietário, impedindo a sua utilização num software que não seja desenvolvido pela Autodesk.

Também da Autodesk, o Revit permite a criação de modelos BIM, inclusivamente a partir dos modelos do AutoCAD, podendo ser uma boa escolha para combinar os dois software. Ainda assim, sofre do mesmo problema que o AutoCAD, utilizando apenas formatos proprietários, para além de não ter disponível uma licença educacional, fazendo com que não seja possível usá-lo neste trabalho. Por fim o ArchiCAD, apesar de ser menos usado que os programas da Autodesk, permite a criação de BIM em formato não proprietário, para além de incluir a possibilidade de exportar os modelos dos elementos da estrutura do edifício para .obj e outros formatos de uso livre, permitindo o seu uso

diretamente na aplicação através do ARCore. Sendo assim, o ArchiCAD foi a escolha para a criação dos modelos 3D a usar na aplicação.

3.5 Conclusão

Com o resultado da análise apresentada neste capítulo, foram selecionadas as ferramentas a serem usadas no desenvolvimento da solução. Sendo assim, a aplicação será implementada para *tablet* usando o SDK ARCore para apresentar os modelos criados no ArchiCAD.

Adicionalmente às ferramentas escolhidas, foi ainda usado o *software* de modelação 3D *Blender* [14] para adicionar elementos aos modelos gerados pelo ArchiCAD, bem como a criação de modelos de teste a serem usados inicialmente. O capítulo seguinte apresenta a implementação da solução usando as ferramentas de RA escolhidas.

Capítulo 4

Desenvolvimento da solução

Neste capítulo é apresentado o desenvolvimento da aplicação com experiência de RA para visualização das estruturas ocultas em edifícios. A implementação é apresentada incrementalmente até chegar à primeira versão da aplicação.

4.1 Primeira aplicação de teste do ARCore

Como forma de testar as funcionalidades do ARCore, foi usada a aplicação de demonstração inicial fornecida pela Google. Esta aplicação está preparada para identificar superfícies horizontais e verticais e sobrepor-lhes um peão virtual. A aplicação permite também usar a detecção de profundidade que faz com que objetos ou parte de objetos virtuais que estejam "atrás" de um objeto real, não sejam apresentados.

4.1.1 Objetivo do uso da aplicação

O uso da aplicação de teste fornecida pela Google teve como objetivo perceber a forma como o ARCore funciona mais aprofundadamente, bem como perceber como é que uma aplicação que usa ARCore deve ser programada.

4.1.2 Funcionamento da aplicação

Inicialmente a aplicação mostra a mensagem "Scanning surfaces..." que indica ao utilizador que esta a ser analisada a imagem do mundo real de forma a identificar superfícies. Quando o sistema identifica uma superfície, apresenta-a como uma malha poligonal sobreposta à imagem da câmara como é demonstrado na figura 4.1. O utilizador pode então seleccionar uma posição que esteja coberta por uma superfície e o peão virtual é adicionado nessa posição (figura 4.2). De notar que se a aplicação perder a referência das superfícies que tinha identificado, faz com que as superfícies e os objetos a elas sobrepostos desapareçam temporariamente, sendo que voltam a aparecer assim que o ARCore conseguir identificar os pontos de referência de novo.

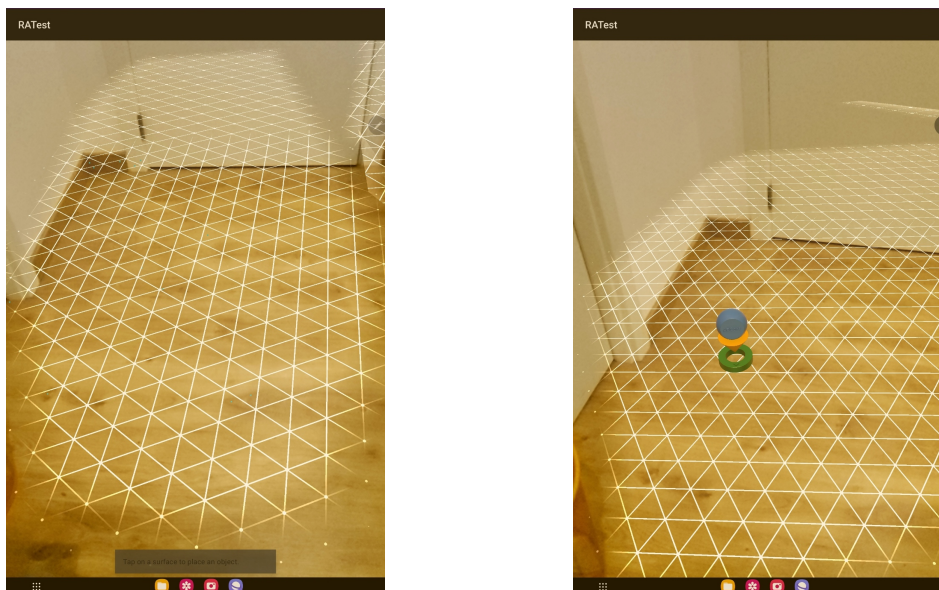


Figura 4.1: ARCore a identificar superfícies Figura 4.2: Peão adicionado pelo ARCore

Na primeira utilização da aplicação, quando o utilizador tenta adicionar o primeiro objeto virtual, é apresentada uma mensagem que permite ao utilizador escolher se quer usar a deteção de profundidade. Sendo o objetivo deste trabalho a visualização de estruturas que estão inseridas dentro de paredes, a ativação desta funcionalidade faria com que esses modelos não fossem apresentados, por isso todos os testes foram realizados com esta funcionalidade desligada.

4.1.3 Incrementos à aplicação de teste

Apesar de ser um bom ponto de partida para entender a forma como o ARCore funciona, era necessário tentar alterar alguns dos componentes da aplicação fornecida de forma a perceber como é a aplicação a desenvolver neste trabalho poderia ser implementada.

O primeiro teste realizado foi alterar o modelo que é renderizado, de forma a ser usado um modelo criado por outra aplicação, o que é essencial, tendo em conta a necessidade de importar os modelos das canalizações. Deste modo, o modelo do peão foi substituído pelo modelo de um cubo criado na ferramenta de modelação 3D Blender e exportado para .obj. Para além disto, também foi alterada a textura usada no cubo, sendo esta criada também no Blender e exportada para .png. Este teste é importante para perceber como é que poderiam ser usadas diferentes texturas para os vários tipos de canalização. A forma como o cubo é apresentado pela aplicação encontra-se na figura 4.3.

4.1.4 Análise

Através desta aplicação, foi possível entender aprofundadamente quais são vários componentes de uma aplicação com ARCore e a forma como estes funcionam.



Figura 4.3: Cubo criado através do Blender

- As coordenadas da posição dos modelos são relativas à posição real da câmara, ou seja a coordenada (0,0,0) corresponde à posição da câmara no mundo real quando é adicionado o primeiro objeto. Mesmo que a câmara se mova ao longo do tempo, a posição inicial é mantida na mesma posição.
- A posição dos modelos é guardada com recurso a âncoras que fazem com que os objetos possam ficar na mesma posição mesmo que o utilizador se movimente.
- Para mudar o modelo e a textura apresentadas, basta indicar o caminho até ao modelo no código da aplicação.

4.2 Criação do modelos BIM

Para testar a aplicação ao longo do seu desenvolvimento, foram seleccionados 3 espaços para serem modelados no ArchiCAD de forma a ser possível modelos fictícios das canalizações nesses espaços e poder exportá-los diretamente para o ARCore. Os espaços escolhidos foram: um quarto em casa de forma a poder testar as alterações mais rapidamente e as salas 1.3.12 e 1.3.30 para testar em conjunto com as orientadoras e também por serem espaços maiores e mais amplos.

4.2.1 Uso da aplicação ArchiCAD

A aplicação ArchiCAD tem uma interface bastante intuitiva para utilizadores menos experientes. Como está representado na figura 4.4, a interface está dividida em várias partes.

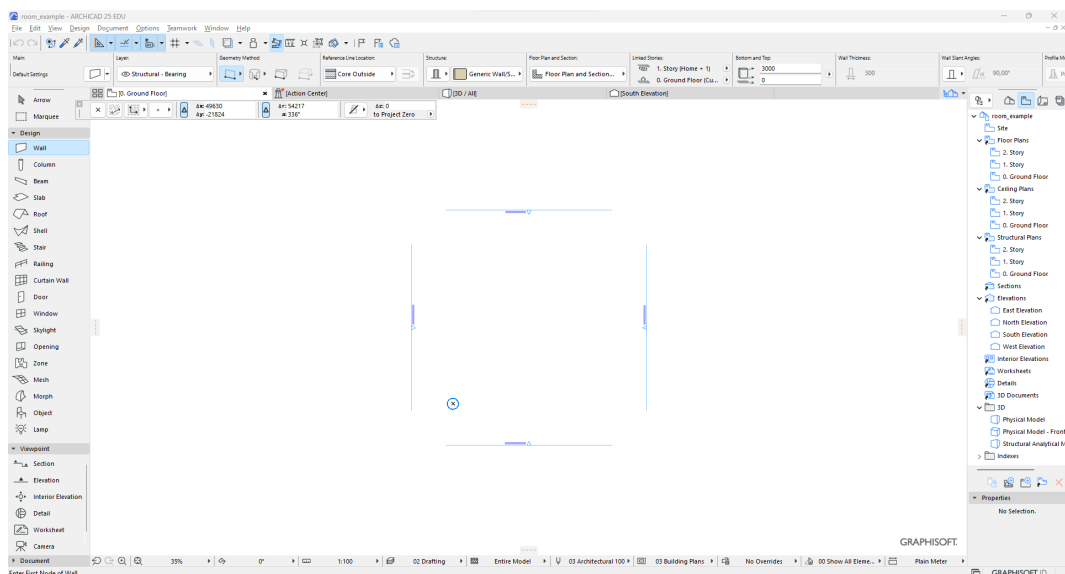


Figura 4.4: Interface inicial do ArchiCAD

Na barra superior, estão disponíveis funcionalidades que não alteram diretamente o modelo que está a ser criado, mas ajudam a interação do utilizador com ele, como é o caso da funcionalidade de mostrar ou esconder as linhas guia ou a régua que permite medir distâncias, áreas ou ângulos.

De seguida encontram-se as opções que alteram o elemento que estiver selecionado ou o elemento que se está a adicionar, com funções como alterar a altura de uma parede, alterar a linha de referência e o material.

No menu à esquerda, encontram-se os elementos que podem ser adicionados de acordo com o perfil que estiver selecionado, neste caso permite adicionar elementos de design uma vez que o perfil de arquitetura básico está selecionado.

Na lateral direita, é possível escolher outros andares bem como outras vistas sobre o modelo, tal como a vista sobre diferentes pontos cardeais ou a vista tridimensional do modelo. A janela principal encontra-se ao centro. Na sua parte superior estão disponíveis várias vistas sobre o modelo, por omissão são 0. *Ground Floor* que permite observar e editar a planta bidimensional do rés-do-chão; *Action Center* que permite várias ações sobre o ArchiCAD, como gestão de bibliotecas e desenhos; *3D/All* que permite visualizar o modelo tridimensional do edifício, incluindo a parte interior e exterior; *South Elevation* que permite visualizar o modelo a partir da vertente sul, ou seja a planta bidimensional da fachada sul do edifício.

4.2.2 Modelação dos espaços

De forma a modelar os espaços no ArchiCAD com medidas correspondentes à realidade, foram tiradas medidas manualmente ao comprimento das paredes, bem como à sua altura. Todos os espaços são retângulos, estando as medidas obtidas na tabela 4.1.

Espaço	Quarto	Sala 1.3.12	Sala 1.3.30
Comprimento	3,63 m	9,20 m	9,26 m
Largura	2,89 m	6,90 m	6,55 m
Altura	2,71 m	3,00 m	4,12 m

Tabela 4.1: Dimensões dos espaços para teste da aplicação

Foi criado um projeto no ArchiCAD para cada um dos espaços. Apenas vai ser descrita a modelação do quarto, sendo a modelação análoga para os restantes espaços.

Começou-se pela criação das paredes, selecionando a opção *Wall* no menu lateral esquerdo e definindo a sua altura na primeira caixa de texto da secção *Bottom and Top* no menu superior. Para além disto, tendo as medidas sido obtidas na parte interior das paredes, foi selecionada a opção de face interior (*Inside Face*) na secção *Reference Line Location*. Quanto à espessura e o material da parede, foram usados os valores por omissão.

Em relação à localização do modelo no referencial do ArchiCAD, nas primeiras versões dos modelos criados, não foi usado nenhum ponto específico como origem. Após algumas experiências com a ferramenta, percebeu-se que esta forma de criar os modelos gera problemas na exportação para .obj, fazendo com que a origem do modelo se localize a uma grande distância do modelo em si, para além de ser uma distância arbitrária que torna uma possível correção posterior do modelo bastante difícil. Foi identificado que o pro-

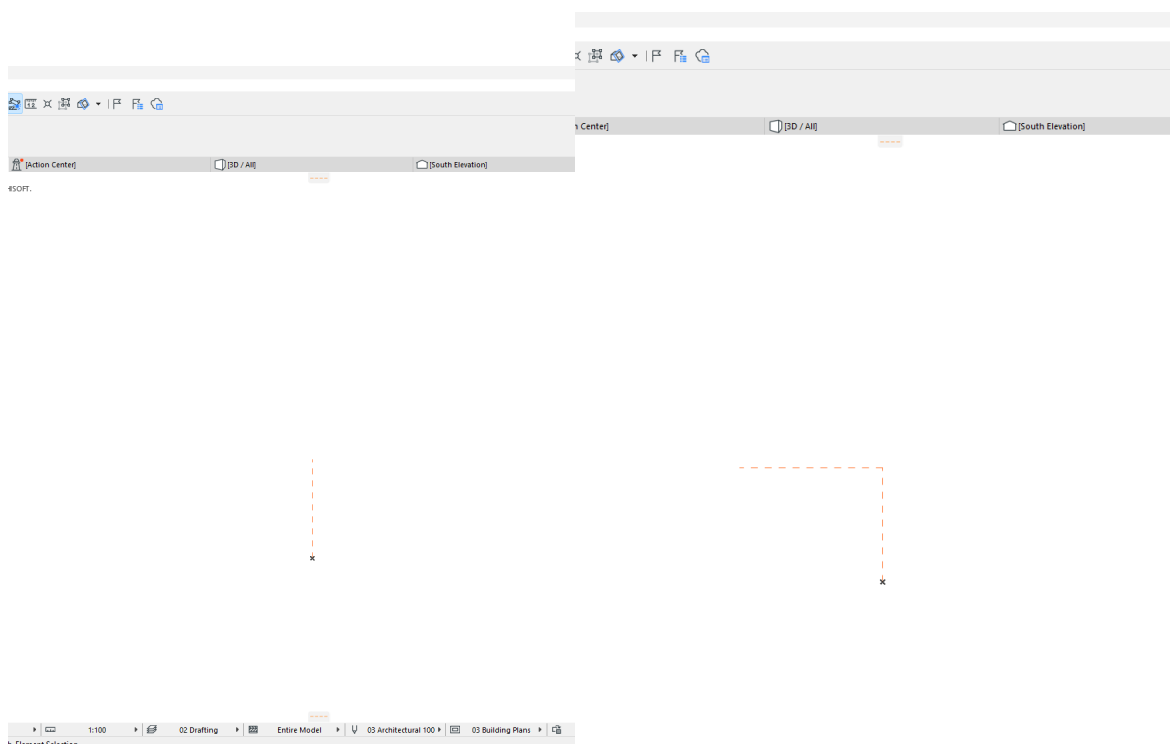


Figura 4.5: Primeira linha guia

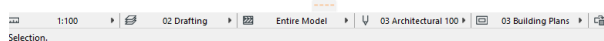


Figura 4.6: Segunda linha guia

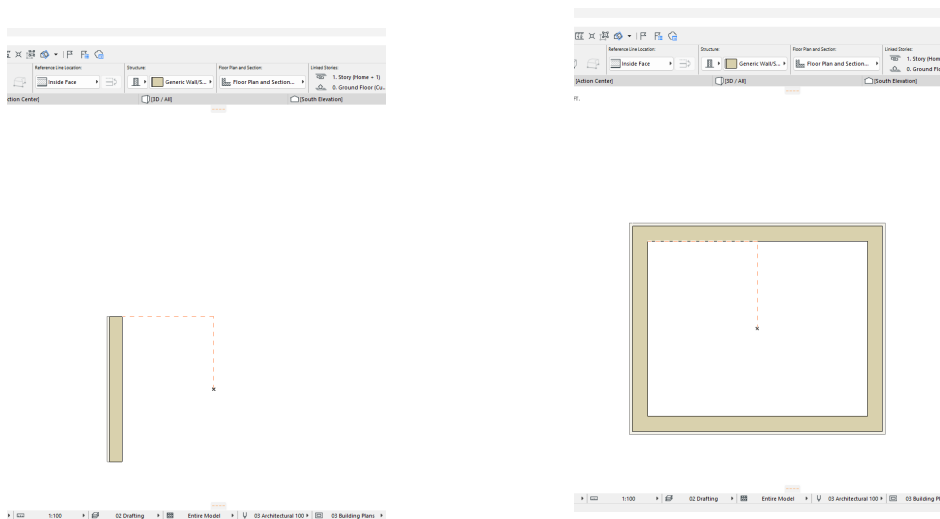


Figura 4.7: Primeira parede adicionada

Figura 4.8: Paredes completamente adicionadas

blema é resolvido se o modelo estiver centrado na origem do referencial do ArchiCAD, identificado com um x na interface.

Sendo assim, foram criadas duas linhas guia (através do atalho Alt+F9), uma com tamanho igual à metade da largura do modelo e início na origem do referencial (figura 4.5), e outra com metade do comprimento do modelo com início no fim da anterior (figura 4.6), sendo que o fim desta vai ser usado como um dos vértices do modelo.

Usando a linha guia criada, foi adicionada a primeira parede do modelo, com o tamanho da medição feita e alinhada com uma das orientações, ou seja, diretamente na vertical ou na horizontal como demonstrado na figura 4.7. O procedimento para as restantes paredes é o mesmo, iniciando a criação no vértice da parede anterior ao invés de ser nas linhas guia, obtendo o resultado na figura 4.8. Terminado este passo, as linhas guia foram removidas.

Como forma de referência na adição das canalizações ao modelo, foram ainda adicionadas portas e janelas ao modelo. O intuito destes elementos no modelo é as canalizações não serem sobrepostas a eles quando forem mostrados pela aplicação.

4.2.3 Criação das Canalizações

A posição das canalizações não foi obtida a partir de informação real uma vez que esta não estava disponível. Desta forma, as canalizações foram criadas apenas com a restrição de passarem por dentro das paredes e não pelas portas ou janelas.

Para a tarefa de adição de canalizações ao modelo, o ArchiCAD contém um perfil predefinido para planeamento mecânico, elétrico e de canalização (MEP). A seleção deste perfil é feita através do menu *Options > Work Environment > Apply Profile > MEP Engineering Basic Profile 25*. Após a escolha deste perfil, a interface muda ligeiramente,

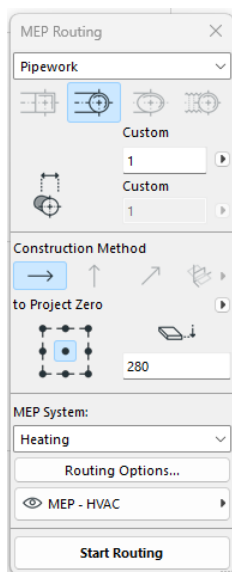


Figura 4.9: Menu de MEP Routing

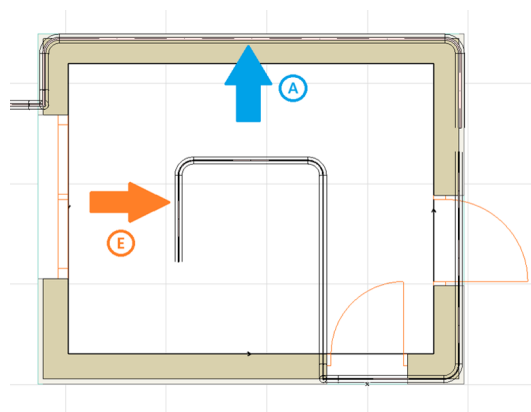


Figura 4.10: Modelo com Canalizações

passando a mostrar elementos de canalização, ventilação e eletricidade que podem ser adicionados carregando no modelos enquanto estão selecionados. No entanto o ArchiCAD oferece uma funcionalidade que facilita bastante esta tarefa, o *MEP Routing*. Para abrir o seu menu de controlo basta ir no menu *Window > Palettes* e ativar o *MEP Routing* aparecendo a janela da figura 4.9.

No topo da janela da ferramenta é possível escolher entre os três tipos de canalização, de seguida a espessura pode ser alterada. O *Construction Method* permite escolher a direção da modelação, permitindo de seguida escolher a altura das canalizações em relação ao zero do projeto. Para começar a modelar, basta carregar no botão *Start Routing*.

Com o *routing* iniciado, seleciona-se o local onde a canalização vai iniciar, seguindo depois a mesma lógica da modelação das paredes. Os elementos de curva são adicionados automaticamente quando necessário. Para fazer com que a canalização suba ou desça, seleciona-se a seta para cima no *construction method* e escolhe-se a distância até ao zero do projeto. De notar que a nova altura escolhida tem que ter uma diferença relativamente à altura anterior superior ao tamanho da curva que é instalada que depende da espessura da canalização.

No exemplo apresentado e cujo resultado é apresentado na figura 4.10, foram modeladas duas estruturas, uma a representar as canalizações de água, indicada com a seta azul, e outra a representar tubagens de eletricidade, indicada com a seta amarela (por simplificação de linguagem será usada a designação de canalizações para estes elementos). No caso da eletricidade, uma parte foi modelada dentro do teto, como forma de representar ligações a luzes.

4.2.4 Exportação dos Modelos das Canalizações

Após a criação dos modelos das canalizações, é necessário exportá-los de modo a poderem ser usados na aplicação. Tal como referido na secção 3.3.3, esta ferramenta permite a exportação diretamente para formato OBJ.

Para exportar apenas as canalizações, é preciso esconder da vista tudo o resto. Esta ação pode ser realizada mudando para a vista tridimensional do modelo, carregar com o botão direito do rato no elemento que se quer esconder e selecionar a opção *Hide Selection*. De notar que, de modo a ter modelos independentes para cada tipo de canalização, a exportação do modelo de água e de eletricidade vai ser feita em dois passos diferentes.

Tendo apenas o modelo da canalização que se quer exportar à vista e estando na vista 3D, para efetuar a operação, seleciona-se o menu *File > Save As...*. Na janela de gravação seleciona-se *Wavefront File (*.obj)* como *Save as type*, escolhe-se o nome do ficheiro resultante e a sua localização, e carrega-se em *Save*. O ficheiro OBJ com o modelo fica disponível na pasta selecionada.

4.3 Aplicação para visualizar as canalizações

4.3.1 Apresentação do modelo do ArchiCAD

O desenvolvimento da aplicação teve como base o descrito na secção 4.1. Desta forma, o uso do modelo exportado pelo ArchiCAD para ser mostrado na aplicação é bastante simples, seguindo a mesma lógica da utilização do cubo modelado no Blender. A figura 4.11 mostra a forma como o modelo é apresentado. Como é possível verificar, o centro do modelo (origem do referencial do ArchiCAD) fica alinhado com a posição do plano



Figura 4.11: Apresentação do modelo gerado pelo ArchiCAD

que o utilizador escolhe e com a orientação em que o dispositivo tiver no momento. Isto significa que a posição e orientação do modelo dependem unicamente do *input* do utilizador, sendo esta uma situação que não é compatível com o nível de precisão necessário para a aplicação.

4.3.2 Alinhamento dos modelos

O alinhamento do modelo com os elementos reais é importante para os objetivos da aplicação. Sendo assim, não pode depender das superfícies que o ARCore identifica nem da posição que o utilizador seleciona nessas superfícies. Após alguma investigação do código da aplicação de teste, foi identificado que esta usa a posição que o utilizador pressiona como ancora do modelo apresentado. Desta forma, foi feita uma alteração de modo a usar coordenadas fornecidas em vez das calculadas pelo ARCore, fazendo com que o modelo fique numa posição relativa à câmara do dispositivo.

Posição do dispositivo

Tendo o modelo a ser renderizado numa posição controlada apenas pela posição do dispositivo, é necessário garantir que este esteja numa posição específica no momento em que o utilizador carrega no ecrã. Deste modo é possível determinar a posição em que o centro do modelo deve estar relativamente à câmara do dispositivo e ser apresentado na posição correta. Sendo um elemento presente na maioria dos espaços, o uso de portas foi escolhido como forma de alinhamento.

Desta forma, é apresentado um retângulo sobre a imagem da câmara que o utilizador deve alinhar com a porta real tal como apresentado na figura 4.12. O tamanho da imagem da porta apresentada no dispositivo através da câmara é dependente de 5 elementos:

- Distância focal da câmara
- Resolução da imagem câmara
- Largura e altura do sensor da câmara
- Largura e altura real da porta
- Distância à porta

Estes elementos relacionam-se segundo a seguinte formula:

$$DistanciaPorta = \frac{DistanciaFocal * AlturaReal * AlturaImagem}{AlturaPortaEcran * AlturaSensor}$$

Isto significa que, tendo os dados da câmara do dispositivo e o tamanho real da porta, a distância a esta apenas depende do espaço ocupado pela imagem da mesma no ecrã. Desta



Figura 4.12: Alinhamento usando a porta

forma, foi criado um elemento retangular sobreposto à imagem da câmara, representando o espaço que a porta deve ocupar no ecrã quando o dispositivo esta a uma distância predefinida da porta.

O uso deste elemento permite determinar a que distância o dispositivo se encontra da porta, mas não só. Quando o retângulo está completamente alinhado com a porta, a posição nos restantes eixos é correspondente ao meio da porta, tanto verticalmente como horizontalmente.

Com a conjugação destes elementos, incluindo o conhecimento da posição da porta relativamente ao centro do modelo, é possível determinar a posição relativa do dispositivo em relação ao centro real da divisão e, portanto, a posição relativa em que o modelo deve ficar posicionado em relação ao dispositivo.

Referencial para o utilizador

A apresentação do modelo diretamente como é exportado pelo ArchiCAD apresenta um desafio para a compreensão do utilizador, isto porque os únicos elementos apresentados são as canalizações que não são visíveis, fazendo com que o utilizador não tenha uma boa referência do modelo com o mundo real observável, até de modo a ter confiança de que o modelo ficou bem alinhado.

Para combater este problema foram adicionados, usando o Blender, oito referenciais representando os cantos da divisão e ainda um retângulo representando a porta. A representação da porta permite ao utilizador perceber se o alinhamento foi bem sucedido mais rapidamente, uma vez que a câmara já está apontada à porta durante o processo de alinhar o retângulo virtual com a mesma. O cantos da divisão ajudam a localizar a posição

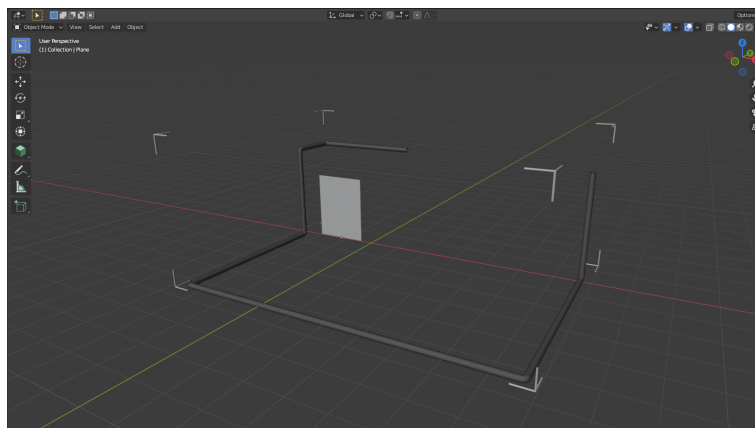


Figura 4.13: Modelo das canalizações com os cantos adicionados

das canalizações relativamente a um ponto conhecido pelo utilizador e mais próximo do que seria se fosse usada a porta. A figura 4.13 apresenta um exemplo de um modelo com a porta e os referenciais adicionados no *Blender*.

Ajustes posteriores

A estratégia descrita permite posicionar corretamente o modelo, desde que o alinhamento do retângulo com a porta feito pelo utilizador seja ideal. No entanto após alguns testes, verificou-se que tal condição é bastante complicada de atingir, fazendo com que o modelo possa ficar desalinhado tanto em termos de posição como em termos de orientação.

Relativamente à posição do modelo, foram adicionados à aplicação botões direcionais que permitem ao utilizador movimentar o modelo nos três eixos como demonstrado na

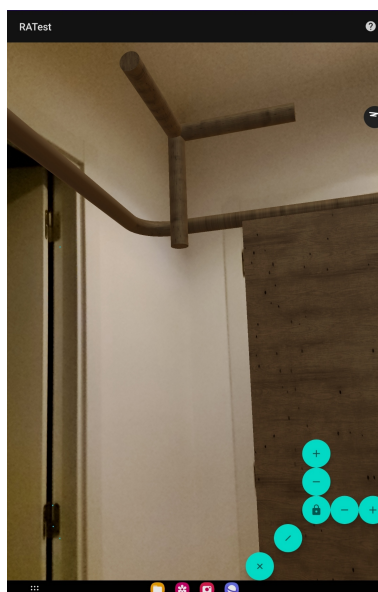


Figura 4.14: Apresentação dos canos e botões de ajuste

figura 4.14. O uso deste mecanismo em conjugação com o retângulo representando a porta que foi adicionado ao modelo, torna mais simples o trabalho de alinhamento por parte do utilizador, permitindo que continue a ser feito usando a porta como referência.

O ajuste da orientação é um elemento mais complexo uma vez que em cada eixo pode ser feito em duas direções o que significa que existem 6 ajustes possíveis, tornando o uso de botões mais complexo e pouco intuitivo. Desta forma, foi implementada uma solução usando os sensores do dispositivo. Esta implementação apresenta um ecrã antes de iniciar a aplicação pedindo ao utilizador para encostar o dispositivo à porta e confirmar quando estiver nessa posição. Após a confirmação, a aplicação guarda a orientação do dispositivo e usa-a no momento de renderizar o modelo após o alinhamento do retângulo com a porta. Esta estratégia reduziu a diferença entre a orientação real e a observada pela experiência de realidade aumentada.

4.3.3 Introdução dinâmica dos dados

De forma a poder facilmente trocar entre os três espaços escolhidos para testes (ver secção 4.2.2) e também simular uma utilização real de um utilizador com vários edifícios e divisões, foram criadas duas páginas que permitem ao utilizador escolher o edifício e de seguida escolher a divisão, apresentadas na figura 4.15 e 4.16 respetivamente. Estas opções são baseadas nos ficheiros introduzidos no modelo de ficheiros da aplicação Android onde está incluída uma pasta *buildings* em que cada uma das suas sub-pastas correspondem a um edifício. Dentro da pasta de cada edifício são introduzidos os modelos usados e um ficheiro do tipo *XML* com a informação necessária à renderização dos modelos de cada uma das divisões, tais como as dimensões da porta, a distância a que o dispositivo vai estar da porta e os nomes dos ficheiros com os modelos de água e eletricidade. A estrutura do

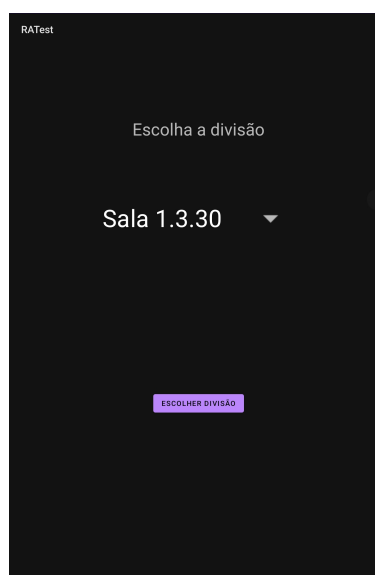
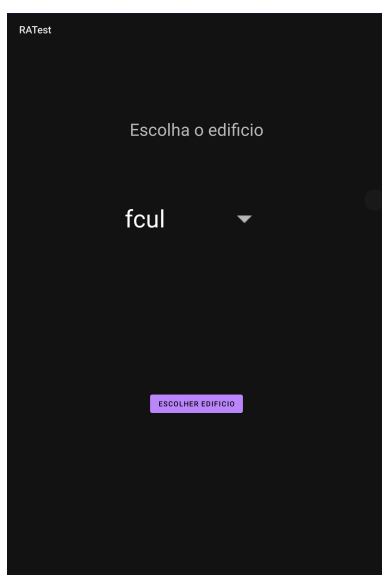


Figura 4.15: Página de escolha do edifício Figura 4.16: Página de escolha da divisão

ficheiro XML segue o schema apresentado no apêndice A.1 juntamente com um exemplo de ficheiro que segue essa estrutura no apêndice A.2.

4.4 Conclusão

A aplicação implementada, nesta versão, teve como objetivo criar uma experiência de RA que permiti-se atingir os objetivos do projeto sem grande preocupação pela interface da mesma. No capítulo seguinte é apresentada a avaliação com utilizadores externos bem como os melhoramentos implementados com os resultados obtidos.

Capítulo 5

Avaliação

De modo a avaliar a aplicação, foram realizados testes com utilizadores. Estes tiveram lugar em duas sessões em que os resultados da primeira foram usados para fazer melhorias à aplicação e na segunda já foi feita a avaliação com estas modificações. Os resultados são apresentados neste capítulo.

5.1 Teste da aplicação

O teste da aplicação tem como objetivo avaliar a funcionalidade de observação das canalizações dentro das paredes usando realidade aumentada. Para a realizações destes testes, foi criado um questionário e um guião de tarefas.

5.1.1 Guião de tarefas

O guião de tarefas criado visa avaliar a experiência de realidade aumentada implementada. Antes da realização das tarefas foi feita um pequena introdução verbal sobre o objetivo da aplicação. Os testes não tiveram nenhum tempo limite e permitiam a navegação livre pelo espaço para exploração do modelo apresentado. As tarefas pedidas foram:

1. Escolher o edifício "fcu"
2. Escolher a divisão "sala 1.3.30"
3. Efetuar a operação de alinhamento inicial
4. Alinhar a imagem com a porta
5. Ajustar a posição do modelo se necessário
6. Explorar os modelos das canalizações apresentados

5.1.2 Questionário

Foi pedido aos voluntários para preencherem o questionário digital apresentado no apêndice B. O questionário estava dividido em quatro partes: (1) formulário de consentimento informado; (2) questionário demográfico e de experiência prévia; (3) questionário sobre a utilização da aplicação; e (4) questionário SUS (System Usability Scale) adaptado. Antes da realização de tarefas na aplicação, foi pedido aos voluntários que respondessem às duas primeiras partes do questionário. De seguida, foi apresentado o guião de tarefas e depois de as mesmas serem realizadas, as duas últimas partes foram respondidas.

O questionário sobre a utilização da aplicação era composto por

- 11 perguntas com resposta numa escala de Likert de 1 a 5 sobre a experiência de realidade aumentada, o alinhamento do modelo e a observação da informação
- 2 perguntas de resposta aberta para os participantes indicarem o que gostaram mais na aplicação e sugestões para a melhoria.

O questionário SUS sobre a usabilidade de um sistema foi criado por Brooke [17] e traduzido para português por Martins et al. [39] e permite avaliar a usabilidade de uma vasta gama de produtos. Consiste em 10 perguntas com cinco opções de resposta numa escala de Likert de 1 a 5 representando total discordância e total concordância, respetivamente. As questões deste tipo de questionário são predefinidas, no entanto duas delas foram removidas para estes testes por não se adequarem ao caso concreto deste trabalho, uma vez que referem a integração de diferentes funcionalidades e a aplicação desenvolvida apenas tem uma. Ainda assim, a fórmula de cálculo do valor utilizada foi a mesma:

1. Para cada pergunta com um número ímpar, subtrair 1 ao valor dado.
2. Para cada pergunta com um número par, subtrair o valor dado a 5.
3. Somar os valores obtidos em cada um dos pontos anteriores
4. Multiplicar o resultado por 2.5

O resultado da implementação é o valor de quantificação da usabilidade do sistema. Normalmente este valor é no máximo 100, em que 68 é considerado acima da média, no entanto com a remoção das 2 perguntas o limite passou a ser 80. Por não se tratar de um valor em percentagem, não é possível fazer a correspondência de valor acima da média, no entanto, o resultado pode ser usado como forma de comparação entre as sessões de testes.

5.1.3 Participantes

Não foram impostas restrições em relação à área de formação dos participantes uma vez que a aplicação tem por objetivo ser usada por qualquer pessoa. Foram realizados 3 testes todos com alunos da área da informática, menores de 25 anos e do sexo masculino. Todos tiveram experiência com aplicações de realidade aumentada referindo os jogos *Pokémon Go* e *Invizimals*. De notar que, sendo esta uma aplicação de Realidade Aumentada, os testes requerem que a sua realização seja feita num local específico para o qual os elementos que aparecem sobrepostos à imagem foram concebidos, neste caso o laboratório 1.3.30, fazendo com que os participantes tivessem de se deslocar a esta sala. Esta limitação reduziu o número e a diversidade dos potenciais participantes nos testes.

5.1.4 Sessões de testes

Os testes todos foram realizados na sala 1.3.30 do edifício C1 da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa. O dispositivo usado foi um tablet com o sistema operativo "Android 13", a marca Samsung, modelo Galaxy Tab S7, com 6Gb de RAM. As sessões seguiram a seguinte estrutura:

1. Preenchimento do formulário de consentimento informado e o questionário demográfico
2. Apresentação verbal da aplicação e o seu objetivo
3. Realização do guião de tarefas
4. Preenchimento das restantes secções do questionário

Durante os testes foi permitido aos utilizadores colocarem dúvidas ou questões sobre a aplicação. As sessões demoraram cerca de 10 minutos.

Diferenças entre testes

O teste com o primeiro voluntário foi realizado num momento diferente dos outros dois. Os resultados obtidos nessa sessão de testes foram usados para melhorar a aplicação. Desta forma, seria expectável que os resultados obtidos nas outras duas sessões de testes fossem melhores do que a primeira.

Durante a primeira sessão de testes, um erro no código na aplicação que estava compilada no dispositivo de testes fez com que o alinhamento do modelo ficasse bastante desviado da sua posição esperada principalmente no eixo da profundidade. Isto fez com que metade do modelo fosse apresentado fora da divisão. No entanto, como o alinhamento da largura e na altura estava bastante mais perto da realidade, ainda foi possível ao voluntário observar os elementos na parede lateral à porta bem posicionados.

Após essa sessão de testes foram feitos os seguintes melhoramentos:

- Resolução do problema com o alinhamento na profundidade
- Alteração das cores usadas nos diferentes modelos para serem mais distinguíveis entre si. A figura 5.1 mostra a diferença entre os tipos de canalização. De notar que foi adicionado um modelo numa posição sobreposta às canalizações elétricas para simular as canalizações de água para facilitar a demonstração da alteração.

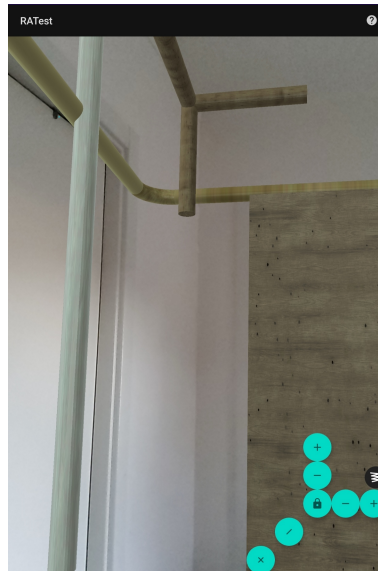


Figura 5.1: Modelos com cores diferentes

- Adição de uma janela de ajuda onde é apresentada uma legenda das cores de cada tipo de canalização com a estrutura apresentada na figura 5.2

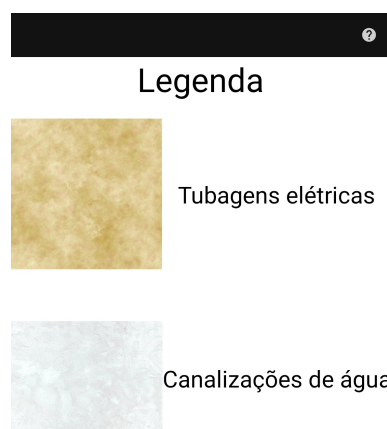


Figura 5.2: Janela de ajuda com legenda

- Adição de uma página antes do início da experiência de RA onde é explicado o que o utilizador vai necessitar de fazer. Esta página é apresentada na figura 5.3

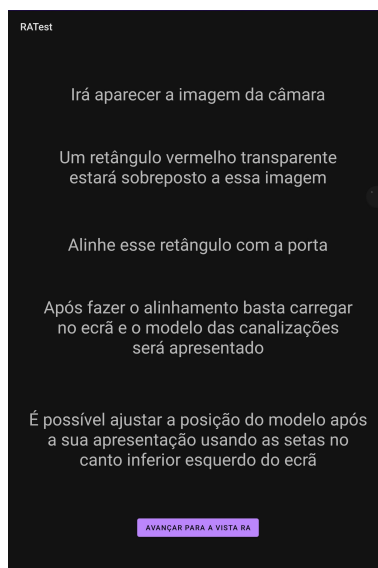


Figura 5.3: Página de instruções antes da experiência de RA

- Melhoria da descrição do que fazer na página de alinhamento com a porta, apresentado na figura 5.4

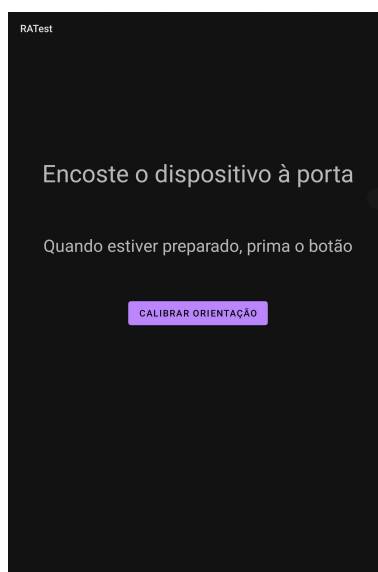


Figura 5.4: Página de alinhamento com a porta

- Adição de um retângulo ao modelo localizado na posição da porta para o utilizador poder usar como referência após a apresentação dos mesmos tal como apresentado na figura 5.5

5.1.5 Resultados dos testes

As perguntas foram divididas em 3 categorias:



Figura 5.5: Apresentação do retângulo na posição da porta

- Realidade aumentada
 - A aplicação foi fácil de usar
 - Em certos momentos senti-me desorientado
 - Em certos momentos senti-me desconfortável
- Alinhamento
 - O alinhamento foi fácil de fazer
 - Consegui perceber se o modelo estava corretamente alinhado com o mundo real
- Observação de informação
 - Consegui perceber onde os elementos passam dentro das paredes
 - Consegui distinguir os diferentes tipos de canalização
 - Consegui relacionar a posição dos elementos virtuais com o ambiente real
 - Os mecanismos de correção da posição do modelo foram suficientes para corrigir desvios no alinhamento

Foi feita a média dos valores das respostas de cada categoria para cada voluntário (Tabela 5.1), sendo que o valor usado nas perguntas escritas na negativa (segunda e terceira perguntas da categoria de Realidade Aumentada) foi a subtração do valor dado a 6.

Ao analisar os resultados obtidos, é possível verificar que, tal como esperado, estes melhoraram substancialmente do primeiro voluntário (V1) para o segundo e terceiro (V2

Categoria	V1	V2	V3	Total	V2+V3
Realidade aumentada	3.66	5	4.66	4.44	4.83
Alinhamento	2.5	3.5	3.5	3.16	3.5
Observação de informação	2.25	4.25	3.25	3.25	3.75

Tabela 5.1: Média de cada categoria por voluntário

+ V3). Isto significa que as alterações efetuados após a primeira sessão de testes melhoraram a aplicação de modo geral. Ainda assim, a pontuação das questões relativas ao alinhamento continuou a ser a mais baixa o que significa que serão desejáveis melhorias neste campo.

Nas perguntas de resposta aberta e na interação com os voluntários durante os testes foi indicado que o conceito da aplicação é útil, no entanto foram sugeridas algumas alterações como a melhoria do mecanismo de correção com as setas no canto do ecrã por ter movimentos demasiado lentos e a introdução de instruções claras do que o utilizador deve fazer em cada momento.

Quanto aos questionário SUS, o resultado também melhorou da primeira sessão de testes para as seguintes, obtendo-se um resultado de 40 no primeiro e uma média de 63.75 no dois seguintes.

5.2 Conclusão

Na primeira sessão de testes, as classificações nas diversas categorias foram bastante baixas, com duas a ficar abaixo do valor médio de 3, para além da classificação no questionário SUS que foi bastante baixa. As sessões de testes com o segundo e terceiro voluntários mostram que as alterações efetuadas melhoraram bastante a experiência de realidade aumentada e a usabilidade da aplicação, tendo em conta a melhoria no resultado do questionário SUS. No entanto, a classificação do alinhamento e da observação de informação manteve-se baixa apesar de ter melhorado bastante, concluindo-se que será necessário fazer bastante mais trabalho no sentido de melhorar estes aspetos.

A amostra de voluntários que realizou testes é pequena. Os resultados obtidos não podem considerar-se significativos, no entanto, ajudaram a identificar problemas e a perceber quais os aspetos que precisam de ser melhorados na aplicação.

Capítulo 6

Conclusão e trabalho futuro

6.1 Conclusão

O objetivo deste trabalho era a implementação de uma aplicação de RA que permitisse aos utilizadores visualizar as canalizações que passam dentro das paredes usando realidade aumentada. A aplicação criada cumpre este objetivo ao apresentar os modelos das canalizações na posição definida.

Tendo em conta a restrição apresentada na Secção 1.2 relativamente ao uso da aplicação por utilizadores peritos e não peritos, seria interessante efetuar testes com utilizadores peritos em áreas de construção civil para execução de tarefas mais complexas, uma vez que não foi possível fazê-lo durante este trabalho. Ainda assim, os testes efetuados mostraram que a experiência de realidade aumentada é bastante satisfatória destacando-se a facilidade do seu uso o que significa que a sua utilização por diferentes tipos de utilizadores parece ser viável.

A segunda iteração após o primeiro teste com utilizadores permitiu corrigir alguns problemas presentes na primeira versão e que resultaram no melhoramento dos resultados do segundo conjunto de testes. A usabilidade da aplicação, avaliada pelo questionário SUS, teve um melhoramento substancial o que pode indicar que a adaptação de utilizadores menos experientes à utilização da aplicação é mais facilitada. A melhoria mais importante foi a do alinhamento dos modelos com o mundo real, uma vez que este elemento determina a precisão da posição dos modelos apresentada na aplicação em relação à posição real e os desvios podem resultar na incorreta identificação por parte do utilizador.

6.2 Trabalho Futuro

A aplicação ainda está numa versão bastante inicial que serviu essencialmente como prova de conceito. Existem diversos campos em que é possível progredir, tanto na aplicação em si como na criação e processamento dos dados que são inseridos nesta.

Em matéria de criação dos modelos num formato que possa ser utilizado pela aplicação, partindo do ponto inicial em que existem os modelos BIM com a arquitetura do edifício, a conversão para formato "OBJ" de cada tipo de estruturas (elétricas, canalização, etc.) em que estas fiquem separadas por divisão é uma situação a estudar. Para além disto, tendo em conta o descrito na Secção 1.1 relativamente a alterações à posição das estruturas, seria interessante explorar uma forma de permitir que estas sejam refletidas no modelo apresentado.

Seria interessante a criação de um *script* que permita adicionar automaticamente ao modelo "OBJ" os referenciais que representam os cantos da divisão recebendo o modelo original e as dimensões da mesma.

Quanto à inserção dos modelos e ficheiro de configuração XML, a criação de uma aplicação em que o utilizador possa adicionar os modelos e definir os valores de configuração através de uma interface é desejável porque a implementação atual implica alterar os dados com que a aplicação é compilada o que não é aceitável para ser usado fora do contexto de investigação. Isto engloba fazer alteração na forma como os dados são carregados pela aplicação, uma vez que estes teriam de ser obtidos através da Web ou de uma outra forma de transferir dados em dispositivos.

A implementação da aplicação necessita de melhoramentos em vários campos. Apesar do resultado acima da média no questionário SUS que avalia usabilidade da aplicação, existe bastante margem para melhorias neste campo uma vez que o foco deste trabalho era na apresentação dos dados. Um exemplo de melhoria nesta área seria a possibilidade de escolher a divisão através de uma planta do edifício ou também indicar o que o utilizador deve fazer em cada momento.

O elemento mais importante na aplicação é o alinhamento dos modelos com o mundo real, isto significa que melhorias neste campo são sempre relevantes. Seria interessante explorar outros modos de alinhamento ou combinar os existentes com outros de modo a reduzir a margem de erro existente atualmente. Isto também é pertinente porque os testes mostraram que o alinhamento correto do retângulo virtual apresentado com a porta real é difícil de conseguir.

Na apresentação dos modelos deveria ser possível ao utilizador ver apenas um determinado tipo de canalização e também selecionar no ecrã um dos modelos para obter informação extra sobre aquela estrutura como por exemplo o diâmetro. Apesar de serem visíveis pelo utilizador, elementos como torneiras ou tomadas deveriam também ser apresentados de maneira diferente, uma vez que podem ser usados como referência visual.

Em relação ao *software* e equipamentos usados, seria interessante explorar outros SDK e as suas funcionalidades, no entanto o custo de conversão é bastante alto porque a implementação atual é feita nativamente no ARCore. A execução de testes noutros dispositivos como *smartphones* e *tablets* com o sistema operativo *iOS* é desejável para que a aplicação possa estar disponível para mais utilizadores. Por fim, tal como referido na

secção 5.2, a amostra de utilizadores que realizaram testes neste trabalho foi reduzida. Deste modo, é importante que sejam realizados testes com mais utilizadores inclusivamente especialistas em construção civil e/ou arquitetura.

Bibliografia

- [1] ISO 19650-1:2018. Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) — Information management using building information modelling. International Organization for Standardization, December 2018.
- [2] A. Doshi, S. Y. Cheng, and M. M. Trivedi. A Novel Active Heads-Up Display for Driver Assistance. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B (Cybernetics)*, 39(1):85–93, February 2009.
- [3] Apple. ARKit. <https://developer.apple.com/augmented-reality/arkit/>.
- [4] Apple. Core Motion. <https://developer.apple.com/documentation/coremotion>.
- [5] Apple. Apple unveils new iPad Pro with breakthrough LiDAR Scanner and brings trackpad support to iPadOS. March 2020.
- [6] ARCore. ARCore supported devices. <https://developers.google.com/ar/devices>.
- [7] ARCore. Fundamental concepts. <https://developers.google.com/ar/develop/fundamentals>.
- [8] ARCore. Introduction to Depth on Android. <https://developers.google.com/ar/develop/java/depth/introduction>.
- [9] ARCore. Introduction to Lighting Estimation. <https://developers.google.com/ar/develop/java/lighting-estimation/introduction>.
- [10] Autodesk. AutoCAD. <https://www.autodesk.pt/products/autocad/overview?term=1-YEAR&tab=subscription>.
- [11] Autodesk. Revit. <https://www.autodesk.pt/products/revit/overview?term=1-YEAR&tab=subscription>.

- [12] Ronald T Azuma. A survey of augmented reality. *Presence: teleoperators & virtual environments*, 6(4):355–385, 1997. Publisher: MIT Press One Rogers Street, Cambridge, MA 02142-1209, USA journals-info
- [13] bankmycell. How many smartphones are in the world? <https://www.bankmycell.com/blog/how-many-phones-are-in-the-world>.
- [14] Blender. Blender. <https://www.blender.org/>.
- [15] Brandon Bortoluzzi, Ivan Efremov, Clarice Medina, Daniel Sobieraj, and J.J. McArthur. Automating the creation of building information models for existing buildings. *Automation in Construction*, 105:102838, September 2019.
- [16] Erkan Bostanci, Nadia Kanwal, Shoab Ehsan, and Adrian F. Clark. User Tracking Methods for Augmented Reality. *International Journal of Computer Theory and Engineering*, pages 93–98, 2013.
- [17] John Brooke. Sus: A quick and dirty usability scale. *Usability Eval. Ind.*, 189, 11 1995.
- [18] Julie Carmigniani and Borko Furht. Augmented Reality: An Overview. In Borko Furht, editor, *Handbook of Augmented Reality*, pages 3–46. Springer New York, New York, NY, 2011.
- [19] Chilla. Der Neue 7er trägt business-casual, August 2015.
- [20] Pei-Huang Diao and Naai-Jung Shih. BIM-Based AR Maintenance System (BARMS) as an Intelligent Instruction Platform for Complex Plumbing Facilities. *Applied Sciences*, 9(8):1592, April 2019.
- [21] RSB Comunicação e Imagem. Holographic display. <https://rsb.pt/en/project/holographic-display-multic/>.
- [22] EasyAR. API Overview. <https://help.easyar.com/EasyAR%20Sense/latest/ApiReference/Overview.html>.
- [23] EasyAR. EasyAR. <https://help.easyar.com/EasyAR%20Sense/latest/ApiReference/MotionTrackerCameraDeviceTrackingMode.html>.
- [24] Yassir El Filali and Krit Salah-ddine. Augmented reality types and popular use cases. 8:91–97, 04 2019.
- [25] Alexander Fernandes. Soluções para alinhamento em realidade aumentada móvel. Master’s thesis, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, 2018.

- [26] Juergen Freund, Carsten Matysczok, Peter Ebbesmeyer, and Joerg Maciej. AR-PDA: A Personal Digital Assistant for VR/AR Content. In *Volume 1: 22nd Computers and Information in Engineering Conference*, pages 87–93, Montreal, Quebec, Canada, January 2002. ASMEDC.
- [27] Juergen Gausemeier, Juergen Freund, Carsten Matysczok, Beat Bruederlin, and David Beier. Development of a real time image based object recognition method for mobile AR-devices. In *Proceedings of the 2nd international conference on Computer graphics, virtual Reality, visualisation and interaction in Africa - AFRIGRAPH '03*, page 133, Cape Town, South Africa, 2003. ACM Press.
- [28] Google. ARCore. <https://developers.google.com/ar/develop/fundamentals>.
- [29] Google. Glass. <https://www.google.com/glass/start/>.
- [30] Graphisoft. ArchiCAD. <https://graphisoft.com/solutions/archicad>.
- [31] Jianbo Shi and Tomasi. Good features to track. In *1994 Proceedings of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, pages 593–600, June 1994. Journal Abbreviation: 1994 Proceedings of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition.
- [32] Kore. Understanding the different types of AR devices. <https://uxdesign.cc/augmented-reality-device-types-a7668b15bf7a>, September 2018.
- [33] K. Lalit Narayan, K. Mallikarjuna Rao, and M. M. M. Sarcar. *Computer aided design and manufacturing*. PHI Learning Private Limited, Delhi, second printing edition, 2013.
- [34] Chun Ting Li, Jack C.P. Cheng, and Keyu Chen. Top 10 technologies for indoor positioning on construction sites. *Automation in Construction*, 118:103309, October 2020.
- [35] Wenkai Li, A. Nee, and S. Ong. A State-of-the-Art Review of Augmented Reality in Engineering Analysis and Simulation. *Multimodal Technologies and Interaction*, 1(3):17, September 2017.
- [36] David G. Lowe. Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints. *International Journal of Computer Vision*, 60(2):91–110, November 2004.

- [37] Q Lu and SH Lee. Comparative analysis of technologies and methods for automatic construction of building information models for existing buildings. *Proceedings of the ICE HKA Annual Conference 2015*, page 181, 2015. Place: Hong Kong Publisher: Institution of Civil Engineers Hong Kong Association.
- [38] MagicLeap. MagicLeap. <https://www.magicleap.com/en-us/>.
- [39] Ana Isabel Martins, Ana Filipa Rosa, Alexandra Queirós, Anabela Silva, and Nelson Pacheco Rocha. European portuguese validation of the system usability scale (sus). *Procedia Computer Science*, 67:293–300, 2015. Proceedings of the 6th International Conference on Software Development and Technologies for Enhancing Accessibility and Fighting Info-exclusion.
- [40] Carlos Martins. Arcore 1.7 chega com app arcore elements. <https://abertoatedemadrugada.com/2019/02/arcore-17-chega-com-app-arcore-elements.html>, February 2019.
- [41] Microsoft. C# documentation. <https://docs.microsoft.com/en-us/dotnet/csharp/>.
- [42] Microsoft. Microsoft HoloLens. <https://www.microsoft.com/en-us/hololens>.
- [43] Paul Milgram and Fumio Kishino. A taxonomy of mixed reality visual displays. *IEICE TRANSACTIONS on Information and Systems*, 77(12):1321–1329, 1994. Publisher: The Institute of Electronics, Information and Communication Engineers.
- [44] Andrew O’Hara. Video: hands-on with apple arkit demo app. <https://www.idownloadblog.com/2017/08/30/video-hands-on-with-apple-arkit-demo-app/>, March 2019.
- [45] Shigeru Okabayashi, Masao Sakata, Jun’ichi Fukano, Shigetoshi Daidoji, Chikara Hashimoto, and Tomonari Ishikawa. Development of Practical Heads-Up Display for Production Vehicle Application. *SAE Transactions*, 98:638–647, 1989. Publisher: SAE International.
- [46] W. Pisman and C. Woodward. Implementation of an augmented reality system on a PDA. In *The Second IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality, 2003. Proceedings.*, pages 276–277, Tokyo, Japan, 2003. IEEE Comput. Soc.

- [47] Jarkko Polvi, Takafumi Taketomi, Atsunori Moteki, Toshiyuki Yoshitake, Toshiyuki Fukuoka, Goshiro Yamamoto, Christian Sandor, and Hirokazu Kato. Handheld Guides in Inspection Tasks: Augmented Reality versus Picture. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 24(7):2118–2128, July 2018.
- [48] Peter Poor. Strengthening of boundary processes in a company using specific computer-aided facility management software. In *2014 IEEE 12th International Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics (SAMi)*, pages 257–261, Herl’any, Slovakia, January 2014. IEEE.
- [49] PTC. Vuforia. <https://library.vuforia.com/features/environments/device-tracker-overview.html>.
- [50] Viorica Pătrăucean, Iro Armeni, Mohammad Nahangi, Jamie Yeung, Ioannis Brilakis, and Carl Haas. State of research in automatic as-built modelling. *Advanced Engineering Informatics*, 29(2):162–171, April 2015.
- [51] Giri Putra. Seamless ar tracking. <https://www.wikitudo.com/external/doc/documentation/latest/androidnative/instanttrackingnative.html>.
- [52] Michael Romilly. 12 Best Augmented Reality SDKs, January 2019.
- [53] Richard Révész. How many AR enabled phones are in the world. <https://www.aronplatform.com/mobile-ar-penetration/>, July 2020.
- [54] Gerhard Schall, Erick Mendez, and Dieter Schmalstieg. Virtual redlining for civil engineering in real environments. In *2008 7th IEEE/ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality*, pages 95–98, Cambridge, UK, September 2008. IEEE.
- [55] statista. Share of Apple devices by iOS version worldwide from 2016 to 2022. <https://www.statista.com/statistics/565270/apple-devices-ios-version-share-worldwide/>, May 2022.
- [56] Vuforia Support. Image targets. <https://library.vuforia.com/features/images/image-targets.html>.
- [57] Vuforia Support. What 3D model formats does Vuforia support. <https://developer.vuforia.com/forum/faq/technical-what-3d-model-formats-does-vuforia-support>, March 2014.
- [58] Wikitudo Support. Easy ar implementation. <https://github.com/f111fei/react-native-unity-view/issues/123>.

- [59] Marjaana Träskbäck and Michael Haller. Mixed reality training application for an oil refinery: user requirements. In *Proceedings of the 2004 ACM SIGGRAPH international conference on Virtual Reality continuum and its applications in industry*, pages 324–327, 2004.
- [60] F. van Diggelen. Indoor GPS theory & implementation. In *2002 IEEE Position Location and Navigation Symposium (IEEE Cat. No.02CH37284)*, pages 240–247, Palms Springs, CA, USA, 2002. IEEE.
- [61] DWF Van Krevelen and Ronald Poelman. A survey of augmented reality technologies, applications and limitations. *International journal of virtual reality*, 9(2):1–20, 2010.
- [62] Vuforia. Area Targets. <https://library.vuforia.com/environments/area-targets>.
- [63] Vuforia. Cloud Recognition. <https://library.vuforia.com/articles/Training/Cloud-Recognition-Guide.html>.
- [64] Vuforia. Overview. <https://library.vuforia.com/>.
- [65] Vuforia. Vuforia Features. <https://library.vuforia.com/getting-started/vuforia-features>.
- [66] Wikipedia. ArchiCAD. <https://en.wikipedia.org/wiki/Archicad>.
- [67] Wikipedia. Building information modeling. https://en.wikipedia.org/wiki/Building_information_modeling.
- [68] Wikipedia. Computer-Aided Design. https://en.wikipedia.org/wiki/Computer-aided_design.
- [69] Wikitude. Documentation. <https://www.wikitude.com/documentation/>.
- [70] Wikitude. Image Recognition. <https://www.wikitude.com/external/doc/documentation/latest/androidnative/imagerecognitionnative.html#image-recognition>.
- [71] Wikitude. Introduction to Object and Scene Recognition. <https://www.wikitude.com/external/doc/documentation/latest/androidnative/objecttrackingnative.html#introduction-to-object-and-scene-recognition>.

- [72] Wikitude. **Rendering**. <https://www.wikitude.com/external/doc/documentation/latest/androidnative/renderingnative.html#rendering>.
- [73] Wikitude. **SMART - Seamless AR Tracking**. <https://www.wikitude.com/external/doc/documentation/latest/androidnative/instanttrackingnative.html#smart-seamless-ar-tracking>.
- [74] Wikitude. **Wikitude**. <https://www.wikitude.com/external/doc/documentation/latest/androidnative/instanttrackingnative.html#smart-seamless-ar-tracking>.
- [75] Charles Woodward, Timo Kuula, Petri Honkamaa, Mika Hakkarainen, and Paul Kemppi. Implementation and evaluation of a mobile augmented reality system for building maintenance. volume 16, page 18, 2014.

Apêndice A

Ficheiro de dados de um edifício

A.1 XML Schema dos ficheiro de dados

Os ficheiros de dados de um edifício têm de seguir a estrutura definida no seguinte XML Schema.

```
<xs:schema xmlns:xs="http://www.w3.org/2001/XMLSchema"
            elementFormDefault="qualified">
  <xs:element name="building">
    <xs:complexType>
      <xs:sequence>
        <xs:element ref="room"
                    minOccurs="1"
                    maxOccurs="unbounded"/>
      </xs:sequence>
    </xs:complexType>
  </xs:element>
  <xs:element name="room">
    <xs:complexType>
      <xs:sequence>
        <xs:element name="name"
                    type="xs:string"/>
        <xs:element ref="door"
                    minOccurs="1"
                    maxOccurs="1"/>
        <xs:element ref="dimensions"
                    minOccurs="1"
                    maxOccurs="1"/>
        <xs:element ref="models"
                    minOccurs="1"
                    maxOccurs="1"/>
      </xs:sequence>
    </xs:complexType>
  </xs:element>
</xs:schema>
```

```
<xs:element name="door">
  <xs:complexType>
    <xs:sequence>
      <xs:element name="height"
                  type="xs:integer"/>
      <xs:element name="width"
                  type="xs:integer"/>
      <xs:element name="distance"
                  type="xs:integer"/>
    </xs:sequence>
  </xs:complexType>
</xs:element>
<xs:element name="dimensions">
  <xs:complexType>
    <xs:sequence>
      <xs:element name="x"
                  type="xs:decimal"/>
      <xs:element name="y"
                  type="xs:decimal"/>
      <xs:element name="z"
                  type="xs:decimal"/>
    </xs:sequence>
  </xs:complexType>
</xs:element>
<xs:element name="models">
  <xs:complexType>
    <xs:sequence>
      <xs:element name="main"
                  type="xs:string"/>
      <xs:element name="water"
                  type="xs:string"/>
      <xs:element name="electric"
                  type="xs:string"/>
    </xs:sequence>
  </xs:complexType>
</xs:element>
</xs:schema>
```

A.2 Exemplo de ficheiro de dados

```
<building>
  <room>
    <name>Quarto</name>
    <door>
      <height>200</height>
      <width>80</width>
      <distance>2000</distance>
    </door>
    <dimensions>
      <x>1.155</x>
      <y>-1.0</y>
      <z>0.555</z>
    </dimensions>
    <models>
      <main>
        canos_centered.obj
      </main>
      <water>
        agua.obj
      </water>
      <electric>
        eletricidade.obj
      </electric>
    </models>
  </room>
</building>
```

Apêndice B

Questionário

Aplicação InWallRA

* Indica uma pergunta obrigatória

CONSENTIMENTO INFORMADO

1. 1. Aceito participar neste estudo. Compreendo que a minha participação é voluntária e que sou livre de desistir do estudo em qualquer altura, sem ter que dar quaisquer explicações e sem quaisquer consequências *

Marcar apenas uma oval.

Sim

Não

2. 2. Compreendo que os dados recolhidos durante o estudo possam ser do conhecimento dos membros da equipa de investigação, sempre que necessário para o estudo. Autorizo que os membros da equipa tenham acesso a esses dados. *

Marcar apenas uma oval.

Sim

Não

3. 3. Compreendo que, caso esta investigação venha a ser publicada, todos os dados serão mantidos anónimos e nenhuma informação será identificável como sendo minha. *

Marcar apenas uma oval.

Sim

Não

4. 4. Dou permissão para que as minhas respostas possam ser citadas de forma anónima. *

Marcar apenas uma oval.

Sim

Não

QUESTIONÁRIO DEMOGRÁFICO

5. 5. Idade *

Marcar apenas uma oval.

Menor de 25

Entre 25-40

Maior de 40

6. 6. Área principal de trabalho/estudo *

Marcar apenas uma oval.

Construção civil

Informática

Outra: _____

7. 7. Já utilizou aplicações com realidade aumentada *

Marcar apenas uma oval.

Sim

Não

Não sei

8. 8. Se sim, qual?

Guião de Tarefas

- 1- Navegar de forma a escolher a sala 1.3.30
- 2- Efetuar a operação de alinhamento inicial
- 3- Alinhar a imagem com a porta
- 4- Ajustar a posição do modelo se necessário
- 5- Explorar os modelos das canalizações apresentados

9. 9. Questionário sobre a experiência de Realidade Aumentada *

Marcar apenas uma oval por linha.

	Discordo Completamente	Discordo	Neutro	Concordo	Concordo Completamente
A aplicação foi fácil de usar	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Em certos momentos senti-me desorientado	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Em certos momentos senti-me desconfortável	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

10. 10. Realtivamente ao alinhamento *

Marcar apenas uma oval por linha.

	Discordo Completamente	Discordo	Neutro	Concordo	Concordo Completamente
O alinhamento foi fácil de fazer	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Conseguí perceber se o modelo estava corretamente alinhado com o mundo real	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

11. 11. Relativamente a observação da informação *

Marcar apenas uma oval por linha.

	Discordo Completamente	Discordo	Neutro	Concordo	Concordo Completamente
Conseguir a perceber onde os elementos passam dentro das paredes	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Conseguir distinguir os diferentes tipos de canalização	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Conseguir relacionar a posição dos elementos virtuais com o ambiente real.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Os mecanismos de correção da posição do modelo foram suficientes para corrigir desvios no alinhamento	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Em certos momentos senti-me desorientado	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Em certos momentos senti-me desconfortável	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

12. 12. O que gostou mais na aplicação?

13. 13. Tem sugestões para melhorar a aplicação? Se sim, quais?

14. Questionário SUS

De 1- "Discordo Completamente" a 5- "Concordo completamente", indique o seu nível de concordância em relação a cada afirmação apresentada

14. *

Marcar apenas uma oval por linha.

	1	2	3	4	5
Acho que gostaria de utilizar este produto com frequência	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Considerarei o produto mais complexo do que necessário	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Achei o produto fácil de utilizar	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Acho que necessitaria de ajuda de um técnico para conseguir utilizar este produto	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

15. *

Marcar apenas uma oval por linha.

	1	2	3	4	5
Suponho que a maioria das pessoas aprenderia a utilizar rapidamente este produto	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Considerarei o produto muito complicado de usar	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Senti-me muito confiante a utilizar este produto	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Tive que aprender muito antes de conseguir lidar com este produto	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Este conteúdo não foi criado nem aprovado pela Google.

Google Formulários