

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Realidade Aumentada para *Design* em Arquitetura

Mariana Gonçalves Lopes



Mestrado Integrado em Engenharia Informática e Computação

Orientador: Jorge Alves da Silva

Coorientador: Miguel Sales Dias

Julho de 2014

© Mariana Gonçalves Lopes, 2014

Realidade Aumentada para *Design* em Arquitetura

Mariana Gonçalves Lopes

Mestrado Integrado em Engenharia Informática e Computação

Aprovado em provas públicas pelo Júri:

Presidente: José Manuel de Magalhães Cruz (Professor auxiliar da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto)

Vogal Externo: Teresa Romão (Professora auxiliar da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa)

Orientador: Jorge Alves da Silva (Professor auxiliar da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto)

10 de Julho de 2014

Resumo

Na área de arquitetura, as maquetes, quer para estudo e análise inicial do projeto, quer para exposição, onde um modelo mais definitivo é usado para apresentar as características do projeto final, desempenham um papel fundamental como instrumento no processo criativo do arquiteto e para planeamento, conceção e comunicação dos projetos. No entanto, existem sempre algumas dificuldades associadas à utilização das mesmas, como por exemplo o tempo gasto e os custos envolvidos na sua produção e alteração sempre que é necessário prever o resultado de modificações no projeto, ou a visualização de pormenores do interior da maquete, a qual pode ser inviável.

Com o objetivo de auxiliar os arquitetos a ultrapassar as dificuldades encontradas no processo atual de conceção em arquitetura, o Microsoft Language Development Center, em colaboração com o Departamento de Arquitetura e Urbanismo do Instituto Universitário de Lisboa (ISCTE-IUL), lançaram uma hipótese para resolução do problema, consistindo no uso da tecnologia da visualização e interação em realidade aumentada com o modelo virtual 3D do projeto de arquitetura, na mesma escala da maquete de estudo, através de um dispositivo do tipo *tablet*.

A verificação da hipótese passou pela criação de um protótipo que permita a visualização de informação virtual, ou seja, de modelos virtuais 3D de edifícios e sua envolvente exterior, usando realidade aumentada. Este sistema permite que esses modelos sejam visualizados através de um *tablet* utilizando técnicas de visão baseadas em *texture tracking*, que necessita de uma marca visual plana (uma imagem) de referência, a qual funciona como plano para registo e posicionamento do modelo. O sistema permite ainda diversas funcionalidades que facilitarão, quer a modificação do modelo 3D quer a interação com este, como por exemplo a oclusão de objetos e o suporte de planos de corte interativos para pormenores interiores, muito utilizados em arquitetura.

Para o enriquecimento da experiência de visualização e interação com a o modelo 3D, o sistema utilizará uma plataforma computacional móvel com ecrã tátil, permitindo uma interação baseada em toque.

Abstract

In architecture, physical scale models, either for study and initial analysis of the project or for exhibition, where a more definitive model is used to present the characteristics of the final project, play a key role as a tool in the creative process of the planning and design of architectural projects. However there are always some difficulties associated with such approach, such as the time spent and the costs involved in their production and modification, whenever it is necessary to predict the outcome of changes in the project, or when trying to view details of the interior of the model, which may not be feasible.

Aiming to assist the architects to overcome these difficulties, the Microsoft Language Development Center in collaboration with the Department of Architecture and Urban Planning of Instituto Universitário de Lisboa (ISCTE-IUL), proposed an hypothesis for solving such problems. This hypothesis points to the use of visualization and interaction technology in augmented reality, with a 3D virtual model of the architecture project, on the same scale of the physical study model, through a tablet-type device. The hypothesis verification went by creating a prototype allowing the display of 3D virtual models of buildings and their surrounding environment using augmented reality and study its usability with a panel of students and architects. This system allows these models to be viewed in Augmented Reality through a tablet, using texture tracking based on vision, which needs a planar visual marker (a regular image) that works as a plane for the registration of the model. The system also allows several features that facilitate either the modification of the 3D model, or the interaction with it, such as occlusion of objects and the support of interactive cutting planes for interior detail viewing, widely used in architecture. To enrich the viewing and interaction experience with the 3D model, the system uses a mobile computing platform with touch screen, allowing for touch-based interaction.

Agradecimentos

Gostaria de agradecer a todos o que me ajudaram e contribuíram para a elaboração desta dissertação.

Gostaria de agradecer aos meus orientadores Professor Jorge Alves da Silva da FEUP e ao Professor Miguel Sales Dias do MLDC (Microsoft) e ISCTE-IUL pela valiosa orientação e acompanhamento dado durante todo este percurso e pela oportunidade que me foi dada com este projeto.

Ao Ricardo Miguel, Nuno Mendonça e Professora Sara Eloy do ISCTE-IUL pela colaboração prestada a todos os níveis, tanto na minha integração com a área de arquitetura como nos requisitos da aplicação e na realização da avaliação da usabilidade.

Ao Filipe Gaspar e Nelson Carvalho da ADETTI-IUL por todo o apoio técnico prestado durante todo o desenvolvimento.

A todos os participantes da avaliação da usabilidade, alunos e professores do ISCTE-IUL, pela sua participação, pois sem eles não seria possível realizar um estudo tão elaborado sobre o tema.

A todos os meus colegas da Microsoft que me ajudaram durante a minha estadia no MLDC Porto.

À minha família que sempre me apoiou e fez com que tudo isto fosse possível.

Ao meu namorado que me apoiou e ajudou ao longo de todo este percurso e me aturou até nos tempos mais difíceis.

Muito obrigada a todos!
Mariana Gonçalves Lopes

Conteúdo

1. Introdução.....	1
1.1 Contexto e Motivação	1
1.2 Problema	2
1.3 Hipótese, Objetivos e Metodologia de Investigação	3
1.4 Contribuições	5
1.5 Estrutura da Dissertação.....	5
2. Revisão Bibliográfica	7
2.1 Realidade Aumentada	7
2.2 Funcionamento de um sistema de Realidade Aumentada	8
2.2.1 Fase de reconhecimento	9
2.2.2 Fase de seguimento	10
2.2.3 <i>Hardware</i>	10
2.2.4 Bibliotecas de Realidade Aumentada.....	12
2.2.4.1 ARToolKit	12
2.2.4.2 NUTTS	13
2.2.4.3 Vuforia	13
2.2.4.4 KinectFusion	14
2.3 Sistemas de realidade aumentada para arquitetura	15
2.3.1 Arthur	15
2.3.2 ARUDesigner	15
2.3.3 ARchitectureView	16
2.3.4 MxR.....	17
2.3.5 AR-media Player	19
2.4 Conclusão.....	19
3. Especificação do protótipo.....	21
3.1 Requisitos do sistema	21
3.1.1 Requisitos funcionais	21
3.1.2 Requisitos não-funcionais	23
3.2 Arquitetura	24

3.2.1	Arquitetura lógica.....	24
3.2.2	Arquitetura física.....	25
3.3	Modelos da Interface.....	26
3.4	Conclusão.....	28
4.	Desenvolvimento do Protótipo	29
4.1	OpenSceneGraph.....	29
4.2	Funcionalidades.....	30
4.3	Interface.....	34
4.4	Conclusão.....	36
5.	Avaliação da usabilidade	39
5.1	Metodologia	39
5.2	<i>Hardware</i>	40
5.3	Participantes	40
5.4	Tarefas.....	40
5.5	Métodos de análise.....	42
5.6	Resultados	43
5.6.1	Resultados da Sessão.....	43
5.6.2	Resultados dos Inquéritos.....	45
5.7	Conclusão.....	52
6.	Conclusões e Trabalho Futuro	53
6.1	Satisfação dos Objetivos	54
6.2	Trabalho Futuro.....	55
	Referências.....	57
A.	Requisitos funcionais.....	61
A.1.	Requisitos detalhados.....	61
B.	Protótipo da Aplicação.....	64
B.1.	Modelos da Interface.....	64
B.2.	Capturas do Protótipo.....	67
C.	Avaliação da Usabilidade.....	72
C.1.	Termo de consentimento livre e informado (DOC.01/06)	72
C.2.	Inquérito preliminar – Estudantes (DOC. 02/06)	74
C.3.	Inquérito preliminar – Peritos	79
C.4.	Sessão de avaliação (DOC. 04/06).....	82
C.5.	Inquérito de satisfação (DOC. 05/06).....	94
C.6.	Escala de Usabilidade (DOC. 06/06)	103
C.7.	Extrato da recolha fotográfica da avaliação	105

Lista de Figuras

Figura 1: Projeto de arquitetura representado de forma virtual (imagem da esquerda) e real (imagem da direita, em maquete de estudo)	3
Figura 2: Conceito de realidade aumentada (Figura adaptada de [5])	8
Figura 3: Realidade aumentada (a) <i>marker-based</i> (Figura adaptada de [6]) e (b) <i>markerless</i> (Figura adaptada de [7])	9
Figura 4: Funcionamento do ARToolKit (Figura adaptada de [17])	12
Figura 5: Extração <i>offline</i> de características através do FIRST (Figura adaptada de [7])	13
Figura 6: Aplicação desenvolvida com recurso ao Vuforia Smart Terrain (Figura adaptada de [24])	14
Figura 7: Objetos virtuais ocultos no mundo real em realidade aumentada (Figura adaptada de [26])	14
Figura 8: Exemplo de utilização do sistema ARTHUR (Figura adaptada de [27])	15
Figura 9: Utilização do sistema ARUDesigner (Figura adaptada de [28])	16
Figura 10: Exemplo de utilização do sistema ARchitectureView (Figura adaptada de [29])	17
Figura 11: Arquitetura do sistema MxR (Figura adaptada de [32])	18
Figura 12: Vista em primeira pessoa do sistema MxR (Figura adaptada de [32])	18
Figura 13: Modelo 3D visualizado através de realidade aumentada com o AR-media Player (Figura adaptada de [35])	19
Figura 14: Módulos principais do protótipo	22
Figura 15: Casos de uso do sistema para o módulo de Apresentação	22
Figura 16: Casos de uso do sistema para o módulo de Cortes	23
Figura 17: Casos de uso do sistema para o módulo de Seleção	23
Figura 18: Arquitetura geral do sistema	24
Figura 19: Arquitetura lógica da aplicação	25
Figura 20: Modelo da interface no Modo de Apresentação	26
Figura 21: Modelo da interface no Modo de Cortes	27
Figura 22: Modelo da interface no Modo de Seleção	27
Figura 23: Exemplo de um grafo de cena (Figura adaptada de [40])	30
Figura 24: Representação do <i>Viewing Frustum</i> (Figura adaptada de [41])	31

Figura 25: Corte vertical com plano auxiliar para visualização da posição	32
Figura 26: Alterações (pintar e aplicar textura) aplicadas a objetos	32
Figura 27: Realce das estruturas do edifício	33
Figura 28: Interface do Modo de Apresentação	34
Figura 29: Realização de um corte no edifício, recorrendo a interface tátil	35
Figura 30: Oclusão de um objeto no modelo	36
Figura 31: Tarefa de realizar um corte	41
Figura 32: Tarefa de realçar uma camada	42
Figura 33: Tarefa de ocultar um objeto	42
Figura 34: Resultados das sub-tarefas realizadas	44
Figura 35: Disposição dos participantes no final da sessão	45
Figura 36: Resultados da pergunta 1 à 7 (Tabela 3) do Inquérito de Satisfação (ver C.5) realizado aos estudantes	46
Figura 37: Resultados da pergunta 1 à 7 (Tabela 4) do Inquérito de Satisfação (ver C.5) realizado aos peritos	47
Figura 38: Grau de confiança na tecnologia do protótipo dos (a) estudantes e (b) peritos	48
Figura 39: Características (ver Tabela 5) mais e menos valorizadas pelos estudantes	48
Figura 40: Características (ver Tabela 5) mais e menos valorizadas pelos peritos	49
Figura 41: Resultados do inquérito de usabilidade (ver C.6) realizado aos estudantes	50
Figura 42: Resultados do inquérito de usabilidade (ver C.6) realizado aos peritos	51
Figura 43: Modelo da interface de entrada da aplicação (menu fechado)	64
Figura 44: Modelo da interface no Modo de Apresentação	65
Figura 45: Modelo da interface no Modo de Cortes	65
Figura 46: Modelo da interface no Modo de Seleção	66
Figura 47: Modelo do menu de seleção de cor	66
Figura 48: Modelo do menu de seleção de materiais	67
Figura 49: Ecrã inicial do protótipo	67
Figura 50: Modo de Apresentação	68
Figura 51: Modo de Seleção	68
Figura 52: Modo de Cortes	69
Figura 53: Realização de um corte horizontal no edifício	69
Figura 54: Realização de um corte vertical no edifício	70
Figura 55: Oclusão de um objeto no modelo	70
Figura 56: Realce da estrutura do edifício	71

Lista de Tabelas

Tabela 1: Sub-tarefas realizadas pelos participantes por cada tarefa	41
Tabela 2: Quantidade de ajudas por cada erro cometido	43
Tabela 3: Análise dos resultados da pergunta 1 à 7 do Inquérito de Satisfação (ver C.5) realizado aos estudantes	46
Tabela 4: Análise dos resultados da pergunta 1 à 7 do Inquérito de Satisfação (ver C.5) realizado aos peritos	47
Tabela 5: Legendas das características	49
Tabela 6: Análise do inquérito de usabilidade (ver C.6) realizado aos estudantes	50
Tabela 7: Análise do inquérito de usabilidade (ver C.6) realizado aos peritos	51
Tabela 8: Tabela de requisitos funcionais	63

Abreviaturas e Símbolos

2D	<i>Two-dimensional</i>
3D	<i>Three-dimensional</i>
API	<i>Application Programming Interface</i>
BIM	<i>Building Information Modeling</i>
CAAD	<i>Computer-aided architectural design</i>
CAD	<i>Computer-Aided Design</i>
DAG	<i>Directed Acyclic Graph</i>
FIRST	<i>Fast Invariant to Rotation and Scale Transform</i>
HMD	<i>Head Mounted Display</i>
HUD	<i>Head-Up Display</i>
NCC	<i>Normalized Cross Correlation</i>
OSG	<i>OpenSceneGraph</i>
OST	<i>Optical See-Through</i>
SDK	<i>Software Development Kit</i>
SIFT	<i>Scale-Invariant Feature Transform</i>
SURF	<i>Speeded-up robust features</i>
TIC	Tecnologias de informação e comunicação
VST	<i>Video See-Through</i>

Capítulo 1

Introdução

A realidade aumentada permite ao utilizador ver e interagir em tempo real com o mundo real onde pode observar objetos virtuais sobrepostos e alinhados (registados) com este. Esta tecnologia tem a capacidade de alterar o modo como as pessoas interagem com o mundo à sua volta e a sua experiência [1].

O avanço tecnológico da realidade aumentada tem sido significativo e tem chegado a muitas áreas, como a medicina, o *design* e a manutenção industrial, o entretenimento ou a arquitetura, entre outras [2]. Na área de arquitetura, especificamente, as técnicas de realidade aumentada têm sido usadas maioritariamente para auxílio na visualização de informação do projeto de arquitetura, adicionando interação com utilizador [3]. Essa informação pode vir representada fisicamente, por meio de uma maquete, onde se regista um modelo virtual realizado com ferramentas apropriadas de CAAD.

1.1 Contexto e Motivação

Na área de arquitetura, a maquete desempenha um papel fundamental como instrumento no processo criativo do arquiteto e para o planeamento e conceção de projetos, pois é necessário para o arquiteto expressar as suas ideias a outros, como por exemplo ao cliente ou a outros profissionais que interagem com ele (sejam eles de engenharia de estruturas, arquitetura de exteriores, águas e esgotos, energia, iluminação e ar condicionado, ou outras), tornando real, ainda que numa escala menor, a idealização do projeto final a desenvolver.

Existem dois tipos de maquetes usadas em momentos diferentes do processo. A maquete de estudo, usada pelos arquitetos para estudo e análise inicial do projeto, é uma das ferramentas mais importantes no seu trabalho pois é nela que testa diversas soluções e estuda novas ideias. Este tipo de maquete é feito de materiais que podem ser trabalhados mais facilmente, sem

Introdução

grande apresentação, pois tem maior probabilidade de variar ao longo do estudo feito pelo arquiteto. Já a maquete de exposição é um modelo mais definitivo usado para apresentar as características do projeto final aos clientes ou a outros interlocutores envolvidos. Por representar uma fase final do projeto, esta tem um maior nível de pormenor e demora mais tempo a ser executada.

Apesar do uso de maquetes ser comum para o planeamento em arquitetura, existem sempre algumas dificuldades associadas à utilização das mesmas. O desenvolvimento de uma maquete implica gastos de tempo para a sua construção em vários materiais, como por exemplo madeira ou papel. Mas é necessário ter um esboço físico em que seja perceptível o objetivo do projeto a ser realizado por qualquer pessoa, mesmo esta não tendo conhecimentos na área. Se o projeto necessitar de sofrer alguma alteração, esta também será refletida na maquete, implicando a necessidade de utilizar mais tempo para modificar ou reconstruir a mesma.

A visualização de pormenores dos interiores da maquete, apenas seria possível se esta fosse construída de uma forma mais pormenorizada, permitindo retirar peças, tais como o telhado, ou ser divisível com corte vertical, mas, este tipo de construção de maquetes iria requerer mais tempo de confeção, podendo não compensar o trabalho despendido.

Para colmatar algumas destas dificuldades, pode-se recorrer ao uso de modelos ou objetos virtuais onde é possível explorar e alterar a visualização de detalhes, que seria impossível numa maquete física [3]. Esta prática é cada vez mais utilizada pelos arquitetos e introduzida nos programas de ensino em Arquitetura.

Por outro lado, as maquetes físicas continuam a ter vantagens sobre os modelos virtuais em demonstrações públicas e na facilidade de manipulação, permitindo uma maior interação do utilizador com os modelos [3].

1.2 Problema

O problema estudado neste trabalho prende-se com a utilização da maquete como artefacto físico fundamental no processo criativo de conceção em arquitetura, nomeadamente, da maquete de estudo, usada pelos arquitetos para estudo e análise inicial do projeto (ver Figura 1 que ilustra o uso da maquete e do modelo 3D para o mesmo projeto). Os problemas identificados neste contexto podem ser enumerados da seguinte forma:

- Custos de tempo e financeiros muito elevados, incorridos com a elaboração do artefacto.
- Dificuldades na alteração da maquete, sempre que o projeto concetual evolui (o que é muito frequente), o que pode necessitar de destruição e reconstrução parciais da maquete.
- Dificuldades na visualização de pormenores dos interiores da maquete, o que apenas se torna possível se esta fosse construída de forma muito pormenorizada e com peças que se encaixam e desencaixam, o que não é trivial, em virtude das escalas de trabalho.

Introdução

Com o objetivo de auxiliar os arquitetos a ultrapassar as dificuldades atrás enunciadas no processo atual de conceção em arquitetura, o Microsoft Language Development Center, em colaboração com o Departamento de Arquitetura e Urbanismo do Instituto Universitário de Lisboa (ISCTE-IUL), realizaram uma proposta para resolução das dificuldades encontradas no processo de conceção em arquitetura que utiliza maquetes de estudo, que se apresenta nesta tese e que aponta para uma solução tecnológica alternativa à maquete de estudo.

De facto, a hipótese de resolução do problema consiste no uso da tecnologia da visualização e interação em realidade aumentada com o modelo virtual 3D do projeto de arquitetura, na mesma escala da maquete de estudo, neste caso, através de um dispositivo do tipo *tablet*. Dado que esta hipótese carece de validação, na secção seguinte enunciamos mais formalmente a hipótese da tese e os objetivos específicos que poderão levar à sua demonstração.

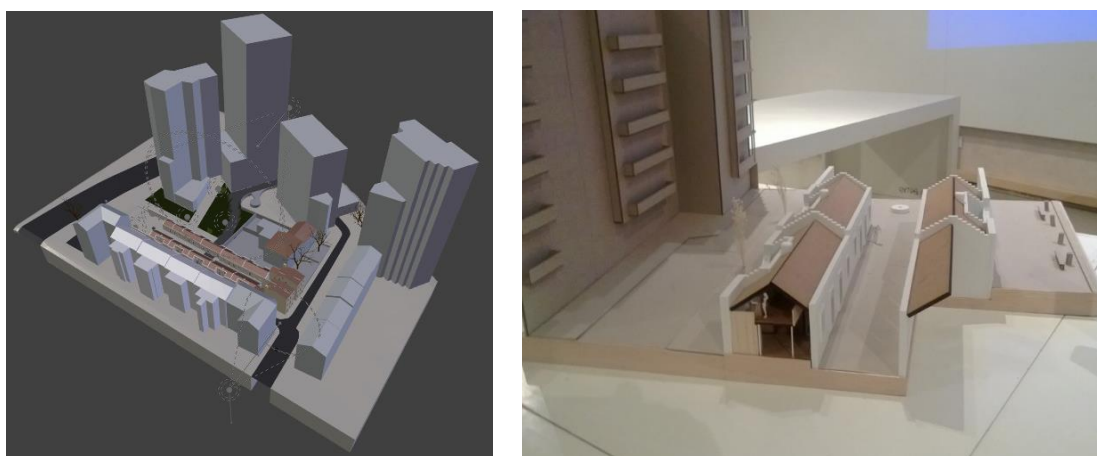


Figura 1: Projeto de arquitetura representado de forma virtual (imagem da esquerda) e real (imagem da direita, em maquete de estudo)

1.3 Hipótese, Objetivos e Metodologia de Investigação

A hipótese que se pretende demonstrar pode ser enunciada da seguinte forma:

“A visualização e interação com modelos virtuais de projetos de arquitetura à escala das maquetes de estudo, utilizando tecnologia de realidade aumentada consumida num dispositivo do tipo *tablet*, são benéficas para o processo de conceção em arquitetura, do ponto de vista de análise iterativa de conceitos e ideias e da compreensão do projeto de arquitetura”.

Sendo o objetivo principal da tese a demonstração da hipótese, definimos os seguintes objetivos secundários para atingir esse fim:

Introdução

O1: Levantar os requisitos e desenvolver e testar um protótipo demonstrável de um sistema que permita a visualização de informação virtual, ou seja, de modelos virtuais 3D de projetos de arquitetura incluindo edifícios e envolvente exterior, usando realidade aumentada consumida num dispositivo do tipo *tablet*. A solução técnica para este protótipo, aponta para as seguintes funcionalidades a serem suportadas:

- Plataforma computacional móvel com ecrã tátil, permitindo uma interação baseada em toque.
- Visualização da realidade aumentada no *tablet* utilizando técnicas de visão baseadas em *texture tracking* que necessitam de uma marca visual plana (uma imagem) de referência, funcionando como plano para registo e posicionamento do modelo.
- Suporte à visualização, modificação e interação com o modelo 3D, como por exemplo a oclusão de objetos e o suporte de planos de corte interativos para pormenores interiores, muito utilizados em arquitetura.

O2: Desenvolver um estudo de avaliação da usabilidade do protótipo desenvolvido, analisar os respetivos resultados e demonstrar a hipótese, nomeadamente, que o protótipo beneficia de facto os arquitetos no seu processo atual de conceção, através da visualização e manipulação interativa de modelos virtuais de projetos à escala das maquetes de estudo.

Pretende-se seguir uma metodologia de investigação que compreende uma fase de levantamentos de requisitos junto de alguns colaboradores, professores e alunos, da área de Arquitetura no ISCTE-IUL, seguida da priorização dos mesmos. Segue-se uma fase planeamento pormenorizado do desenvolvimento de funcionalidades, com aprovação do cumprimento dos requisitos pelos colaboradores iniciais (estudantes de arquitetura e Professora Sara Eloy), que culmina com a realização e análise de um estudo de avaliação da usabilidade do protótipo desenvolvido, este último, com a adoção de uma metodologia baseada em tarefas, com medição do tempo de cada utilizador e de erros cometidos e com observação e entrevista dos participantes.

A escolha da realidade aumentada para a resolução do problema, deriva da necessidade de aproveitar algumas vantagens do uso de maquetes e do uso de modelos 3D, ou seja, a interação e facilidade de demonstração que o modelo físico possui, com os objetos e modelos virtuais, estes permitindo rápidas alterações e testes ao longo do projeto, transportando assim o modelo 3D de um ecrã de computador para a sua visualização sobre uma mesa de trabalho de um arquiteto. Além dessas alterações, também deve ser possível acrescentar informações extra, como realizar cortes que permitam ver o interior ou adicionar texturas ao modelo 3D, tirando partido da sua flexibilidade.

1.4 Contribuições

A principal contribuição desta tese é um protótipo funcional de um sistema de realidade aumentada que permite a visualização de informação virtual de modelos 3D, com interface adaptada ao toque para funcionar num *tablet* e cuja aplicação no processo de conceção de arquitetura comporta diversos benefícios. Estes são demonstráveis pelos resultados da respetiva avaliação da usabilidade, realizada por utilizadores na área de Arquitetura para validar as propostas apresentadas.

Tendo em vista a divulgação do trabalho realizado no âmbito desta dissertação está em preparação um artigo a submeter no EPCG 2014 – Encontro Português de Computação Gráfica.

1.5 Estrutura da Dissertação

Para além da introdução, esta dissertação contém mais 5 capítulos. No capítulo 2 é apresentado o estado da arte, tanto ao nível de trabalhos relacionados com a realidade aumentada na arquitetura, como de tecnologias existentes para criação de aplicações desse género. No capítulo 3 é apresentado o planeamento do trabalho realizado durante a dissertação ao nível dos requisitos, arquitetura e tecnologias a serem usadas. No capítulo 4 são descritos todos os pormenores da implementação do protótipo. No capítulo 5 são apresentados e analisados os resultados da avaliação da usabilidade realizada com o protótipo desenvolvido. No capítulo 6 são apresentadas as conclusões da tese e notas finais sobre o trabalho desenvolvido. Também é discutido o trabalho futuro que ainda poderá ser realizado para dar continuidade a este projeto.

Capítulo 2

Revisão Bibliográfica

Para a criação do protótipo definido nos objetivos (secção 1.3), foi necessário algum estudo da tecnologia de realidade aumentada, descrito brevemente na secção 2.1. O funcionamento de um sistema deste tipo, bem como o *hardware* e *software* disponível, também foram investigados, sendo apresentados na secção 2.2.

Dentro da área específica desta dissertação, também foi realizada uma recolha de sistemas de realidade aumentada em arquitetura, na secção 2.3, focando as aplicações para interiores.

2.1 Realidade Aumentada

A realidade aumentada permite ao utilizador ver o mundo real com objetos virtuais sobrepostos e alinhados (registados) com este, dando uma sensação de fusão entre os dois mundos. Segundo Azuma [4] um sistema de realidade aumentada deve possuir três características essenciais: combinar o real com o virtual, ser interativo em tempo real e alinhar os objetos reais e virtuais em 3D, como é visível na Figura 2.

De modo a criar um sistema de realidade aumentada, são necessários vários componentes: subsistemas de seguimento e alinhamento, de aquisição e interpretação das imagens vídeo, de *rendering* e de interação. Os principais desafios encontram-se no alinhamento do mundo real com o virtual, pois a maior parte aplicações requerem um alinhamento preciso, e no seguimento da posição da câmara.

Para que esse alinhamento seja possível é necessário que o *rendering* dos objetos virtuais seja feito com uma câmara virtual com os mesmos parâmetros intrínsecos e extrínsecos da câmara real usada para adquirir as imagens. Os parâmetros intrínsecos referem-se a distâncias focais e coordenadas do centro da imagem, que podem ser determinados previamente, exceto se

utilizar uma lente com *zoom* que altere a distância focal durante a aquisição de imagem. Os parâmetros extrínsecos determinam a posição e orientação da câmara em relação a um referencial conhecido.



Figura 2: Conceito de realidade aumentada (Figura adaptada de [5])

Na secção 2.2, é apresentado o funcionamento sistema de realidade baseado em visão, onde são apresentadas soluções para a resolução destes desafios.

A realidade aumentada tem sido uma tecnologia adaptada para várias áreas, como, por exemplo, a medicina, robótica, militar, arquitetura, entre outras. Na secção 2.3 são descritos alguns dos sistemas de realidade aumentada que têm sido desenvolvidos para a área de arquitetura.

2.2 Funcionamento de um sistema de Realidade Aumentada

Os sistemas de realidade baseados em visão podem ser de dois tipos, baseados em características ou baseados em modelos. Os sistemas de realidade aumentada baseados em características procuram encontrar uma correspondência entre uma imagem 2D e a cena 3D visível. O estabelecimento de correspondências podem ser *marker-based* ou *markerless*, ou seja, com recurso a marcas fiduciais ou sem marcas, respetivamente.

No caso de serem utilizadas marcas fiduciais, que são padrões planos pré-definidos, a deteção e o seguimento é facilitada pela geometria já conhecida e pelo grande contraste dos elementos constituintes do padrão, mas é necessária a introdução da marca artificial na cena para adicionar os elementos virtuais. Em contrapartida a realidade aumentada sem marcas permite a utilização de marcas naturais da cena, como pontos, linhas, cantos ou padrões caraterísticos, eliminando a necessidade de alteração da mesma. Em algumas cenas, essas marcas naturais podem ser difíceis de identificar.

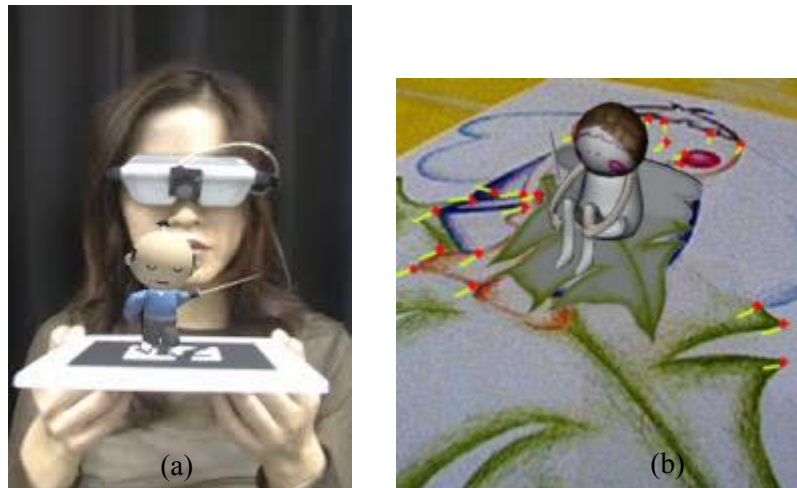


Figura 3: Realidade aumentada (a) *marker-based* (Figura adaptada de [6]) e (b) *markerless* (Figura adaptada de [7])

Em relação à realidade aumentada baseada em modelos, esta permite utilizar os próprios objetos 3D da cena como referenciais, substituindo a extração de características 2D da marca pela construção de um modelo 3D do objeto [8]. O modelo 3D construído é alinhado com os vértices e as arestas.

Ambas as formas de realidade aumentada funcionam de forma semelhante, diferindo apenas no tipo de informação recolhida, 2D ou 3D. O funcionamento geral de um sistema de realidade aumentada compreende, em geral, duas fases: uma fase de reconhecimento da cena pelas suas características e uma fase de seguimento desses pontos característicos.

2.2.1 Fase de reconhecimento

O objetivo desta fase é determinar qual o padrão ou pontos característicos existentes que são visíveis pela câmara, permitindo o cálculo da posição original desta.

No caso de realidade aumentada com marcas do tipo ARToolkit (ver secção 2.2.4.1), é normalmente realizada a segmentação da imagem, depois a deteção de componentes conexas, para detetar regiões da imagem onde potencialmente poderá estar o padrão de referência procurado e finalmente detetar os cantos das regiões detetadas. Depois de detetados os quatro cantos da região é necessário calcular uma homografia, que permite corrigir a distorção resultante da projeção em perspetiva, para que a região fique alinhada com um padrão de referência armazenado em memória. Se corresponder a algum padrão, é determinada a posição e orientação da câmara real para a criação da câmara virtual, necessária para a geração de imagem virtual alinhada com a real.

No caso de realidade aumentada *markerless*, o objeto do mundo real usado como referência não precisa de ser um padrão especialmente concebido para facilitar a sua deteção nas

imagens adquiridas, pode ser uma qualquer superfície plana, desde que esta tenha um número suficiente de pontos caraterísticos. Entende-se por pontos caraterísticos os pontos que se distinguem dos seus pontos vizinhos, devendo ser invariantes à perspetiva, à ampliação da imagem e às condições de iluminação. Os detetores e extratores correspondem a identificadores de caraterísticas locais capazes de representar uma forma sintetizada da imagem para posterior comparação e identificação. No processo de deteção são detetados os pontos caraterísticos de uma imagem e usados pelos extratores para a geração de descritores. O *Scale-Invariant Feature Transform* (SIFT) por Lowe [9] é um dos detetores e extratores mais conhecidos, conseguindo ser invariante ao escalamento e à rotação da imagem [10].

Bay et al. [11] propuseram o SURF (*Speeded-up robust features*), como uma alternativa mais rápida ao SIFT. Este adotou a mesma abordagem para a invariância à rotação e ao escalamento, combinando com aproximações eficientes para acelerar a computação [10].

Outro algoritmo que pode ser usado é o FIRST (*Feature Invariant to Rotation and Scale Transform*) proposto por Bastos[12], que consiste na análise da imagem e extração de caraterísticas, identificadas em tempo real, invariantes à rotação e à escala e robustas em relação às variações de luminosidade do meio.

As caraterísticas extraídas são depois comparadas com os descritores armazenados da imagem padrão e é determinada a pose da câmara real, de forma semelhante à utilizada na realidade aumentada com marcas.

2.2.2 Fase de seguimento

Depois de reconhecido o padrão é necessário segui-lo, à medida que a câmara ou o padrão se movem. Esta fase implica seguir certos pontos caraterísticos do padrão tão rapidamente quanto possível.

No caso do uso de marcas, os cantos são suficientes para seguir o padrão, logo é apenas necessário prever a sua posição e detetá-los. Com a realidade aumentada *markerless*, é necessário calcular o desvio dos pontos caraterísticos em relação à última iteração.

Com essa nova informação, é atualizada a homografia calculada na fase de reconhecimento e novamente determinada a pose da câmara, permitindo o alinhamento entre o mundo real e o virtual.

2.2.3 Hardware

Para visualizar o resultado do mundo real aumentado, existem principalmente quatro tipos de tecnologias: baseadas em monitor, *head-mounted displays* (HMD) *see-through*, baseadas em projeção e dispositivos móveis [8].

Revisão Bibliográfica

Na visualização baseada em monitores, é utilizada uma câmara, que capta imagens do mundo real, ligada a um computador que processe o fluxo de imagens e adicione os objetos virtuais. As imagens aumentadas são mostradas ao utilizador no ecrã do monitor.

Os HMD permitem, quer por tecnologia vídeo ou ótica, visualizar o mundo com os objetos virtuais sobrepostos [8]. Os dispositivos *optical see-through* (OST) permitem que utilizador veja o mundo real com os próprios olhos através de um ecrã transparente, onde são desenhados os objetos virtuais. Nos dispositivos *video see-through* (VST), o mundo real é captado através de uma câmara e o utilizador visualiza, em ecrãs posicionados em frente dos olhos que se encontram no interior do HMD, a sequência do vídeo com os objetos virtuais conjugados.

A visualização baseada em projeção é uma boa opção para aplicações que não necessitam que os utilizadores utilizem nenhum dispositivo acoplado, sendo menos intrusiva. Esta tecnologia consiste na projeção de informação gráfica diretamente sobre os objetos reais e superfícies comuns.

Nos dispositivos móveis, a visualização é feita através do ecrã que conjuga a informação virtual com a informação captada na câmara do dispositivo. O sistema é semelhante ao utilizado na visualização baseada em monitores, englobando a captação, processamento e visualização de imagens num único dispositivo, permitindo assim maior mobilidade.

A maioria dos protótipos iniciais que permitiam mobilidade, como *Touring Machine* [13] e MARS [14], utilizavam computadores portáteis ou, até mesmo, *hardware* de computadores pessoais, formando uma carga pesada, normalmente transportada em mochilas. Apesar de todo o poder computacional superior aos dispositivos móveis, eram mais dispendiosos e volumosos.

Para colmatar a limitação do poder computacional dos dispositivos móveis, Geiger et al. [15] utilizaram uma arquitetura cliente-servidor, criando o sistema AR-PDA, onde um PDA funcionava como cliente que fazia pedidos a um servidor, que executava o processamento necessário para o pedido e devolvia o resultado já processado ao cliente. Mas com a evolução dos dispositivos móveis, foram surgindo sistemas que conseguiram ultrapassar essas limitações computacionais.

Com os dispositivos móveis, como telemóveis, *smartphones* e *tablets*, a tornarem-se baratos e de fácil acesso ao utilizador comum, surgiram novos alvos para a expansão da realidade aumentada, pois, em relação à alternativa anterior do uso de HMD, são menos intrusivos, socialmente aceitáveis, sempre disponíveis e altamente móveis [8].

Além disso, os *tablets* são dispositivos com poder computacional e sistema operativo equivalente a alguns computadores e com um ecrã que permite uma melhor visualização e interação com a cena aumentada que outros dispositivos móveis, como *smartphones*.

2.2.4 Bibliotecas de Realidade Aumentada

2.2.4.1 ARToolKit

Inicialmente desenvolvido por Kato e Billinghurst [16], ARToolKit é atualmente uma biblioteca livre, para fins não comerciais e de investigação, em C/OpenGL, que permite acrescentar objetos virtuais a imagens do mundo real com recurso a marcas fiduciais, com base em algoritmos de visão por computador [6], em tempo real, e com uma rápida calibração da câmara.

Na Figura 4, encontra-se esquematizado o processo que o ARToolKit executa para detetar e seguir o padrão existente na imagem [17]. Este inicia-se com a aquisição pelo computador da imagem da câmara, onde a *software* binariza a imagem para esta possuir apenas pixéis pretos e brancos, realçando assim a moldura preta da marca fiducial para a deteção de componentes conexas. De seguida é analisada a área da imagem binária, pesquisando regiões de pixéis conexas que possam ser candidatas a pertencerem à marca. Essas regiões candidatas vão sendo restringidas com a deteção de cantos, pois este obrigatoriamente têm que ser quatro para a região ser válida.

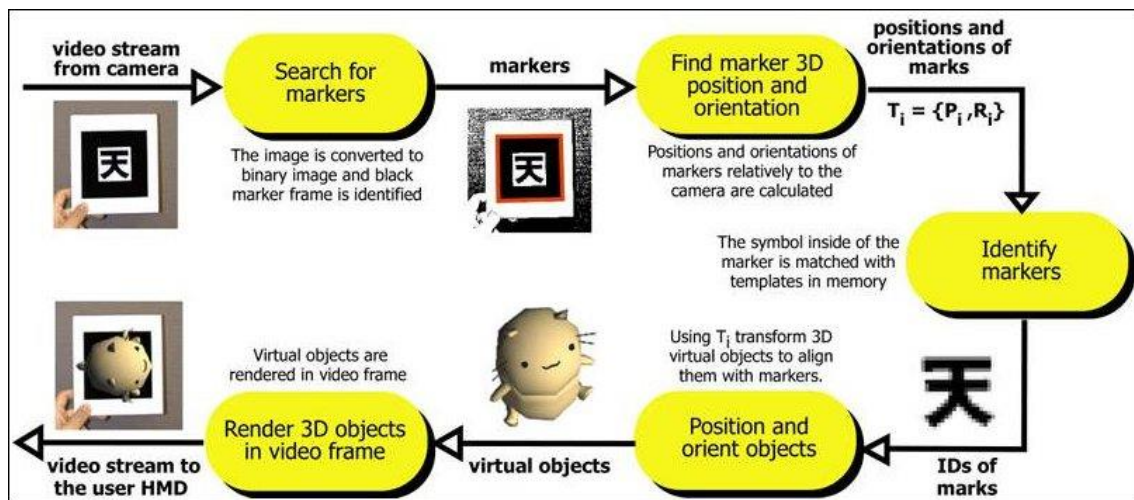


Figura 4: Funcionamento do ARToolKit (Figura adaptada de [17])

Se uma área preta com quatro cantos for encontrada, o ARToolKit calcula uma homografia, que permite corrigir a distorção da projeção em perspetiva, para que a região fique alinhada com o padrão armazenado em memória. Se a região corresponder a algum padrão armazenado, são calculados os parâmetros extrínsecos da câmara real, a partir de uma homografia entre o plano 3D onde está assente o padrão e o plano imagem. De seguida, é criada uma câmara virtual com as mesmas características da real, para que o *rendering* dos objetos virtuais esteja alinhado com os objetos virtuais.

Se existir alguma movimentação da marca ou da câmara real, a nova posição desta tem que ser calculada, para atualizar a posição da câmara virtual.

2.2.4.2 NUTTS

A API NUTTS, *Natural Ubiquitous Texture Tracking System* [18] permite o reconhecimento e seguimento de texturas, que funcionam como plano para registo e posicionamento dos objetos. Esta API foi desenvolvida por Rafael Bastos [7] e consiste na extração de pontos característicos com recurso ao algoritmo FIRST [7] e seguimento dos mesmos com o recurso a técnicas de fluxo ótico (*optical flow*) [19].

Como referido na secção 2.2.1, o algoritmo FIRST (ver Figura 5) extrai características invariantes à rotação e à escala e a variações drásticas de luminosidade [20]. Já o algoritmo *optical flow* estima o movimento, calculando o desvio dos pontos caraterísticos entre duas *frames* consecutivas da imagem captada, o que permite a atualização da posição da câmara.

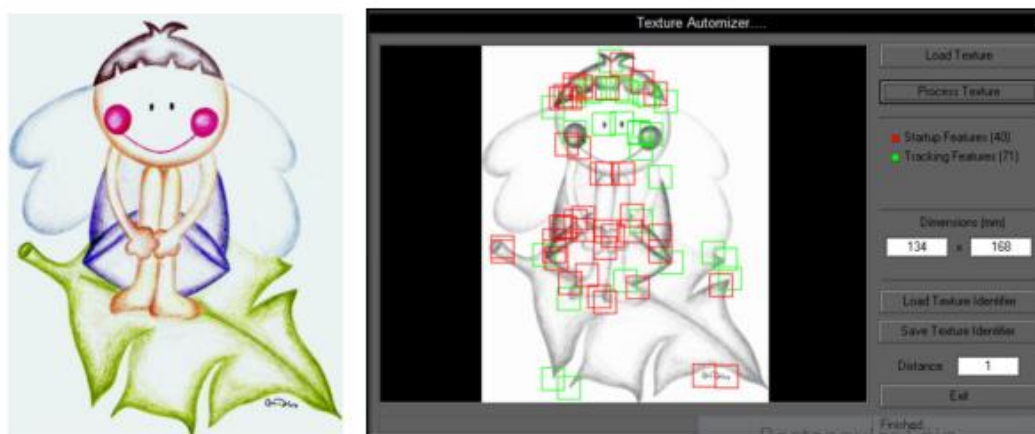


Figura 5: Extração *offline* de caraterísticas através do FIRST (Figura adaptada de [7])

2.2.4.3 Vuforia

Vuforia [21] é um SDK que permite a criação de aplicações móveis de realidade aumentada com diferentes tipos de marcas. Permite detetar e seguir imagens comuns pré-definidas numa base de dados ou definidas pelo utilizador em tempo real, alvos cilíndricos e, com utilização de uma câmara adequada, objetos 3D, utilizando a reconstrução 3D [22].

Este resolve problemas, como oclusão de objetos virtuais sob objetos reais, reconhecimento de texto numa imagem, deteção em ambientes com pouca luz ou com o alvo parcialmente coberto, com grande robustez no seguimento [23].

Revisão Bibliográfica



Figura 6: Aplicação desenvolvida com recurso ao Vuforia Smart Terrain (Figura adaptada de [24])

2.2.4.4 KinectFusion

Recentemente, a Microsoft desenvolveu um sistema que permite a reconstrução interativa de objetos, designado KinectFusion. Este sistema, baseado no sensor Kinect [25], permite a criação de modelos 3D dos objetos de elevada qualidade.

Além disso, o KinectFusion permite novas formas de realidade aumentada, devido à existência de informação 3D [26]. A oclusão de objetos virtuais em realidade aumentada é um dos principais problemas da tecnologia que começa a ser resolvido com estas novas formas. Como é visível na Figura 7(B, C e D), é possível uma oclusão precisa dos objetos virtuais no mundo real, devido à informação de profundidade captada e à reconstrução interativa feita pelo Kinect. Não será possível uma oclusão com tanta qualidade (Figura 7(F)) se não existisse reconstrução interativa além da captação de informação de profundidade (Figura 7(E)).

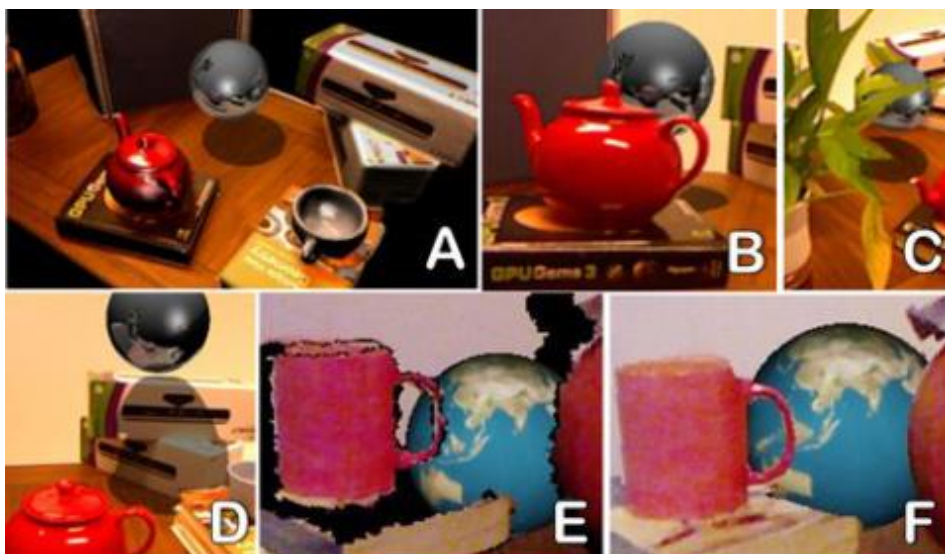


Figura 7: Objetos virtuais ocultos no mundo real em realidade aumentada (Figura adaptada de [26])

2.3 Sistemas de realidade aumentada para arquitetura

Apesar de existirem também sistemas de realidade aumentada para arquitetura no exterior, a pesquisa efetuada cingiu-se a sistemas de realidade aumentada no interior, utilizados na fase de conceção do projeto.

2.3.1 Arthur

Desenvolvido por Broll et al. [27], Arthur é um sistema de realidade aumentada aplicada para planeamento e tomadas de decisões dos arquitetos. Neste sistema, os utilizadores recorrem a um HMD para visualizar uma mesa aumentada com informação virtual (Figura 8). A interação com o utilizador é feita por meio de marcadores, apontadores e gestos, permitindo executar ações, como desenhar uma linha no espaço, navegar em menus ou seleccionar e manipular objetos virtuais.



Figura 8: Exemplo de utilização do sistema ARTHUR (Figura adaptada de [27])

2.3.2 ARUDesigner

O *Augmented Reality-based Urban Design System* (ARUDesigner), desenvolvido por Wang em 2007 [28], foi criado para reduzir a possibilidade de mal interpretações entre os membros da equipa, fornecendo uma informação visual mais detalhada e encorajando à colaboração e comunicação entre os mesmos. O sistema do ARUDesigner (Figura 9) consiste num capacete HMD para visualização do ambiente aumentado, numa câmara de vídeo para captação de imagem da cena e marcas fiduciais para reconhecimento e seguimento de pontos

Revisão Bibliográfica

característicos usados para alinhar as imagens virtuais de edifícios ou outros elementos, para facilitar o planeamento urbano.

Um dos exemplos de utilização deste sistema é o planeamento de uma nova área residencial permitindo a alteração das posições dos novos edifícios (marcas fiduciais) sobre a mesa de trabalho, para visualizar a harmonia com edifícios vizinhos já existentes [28].

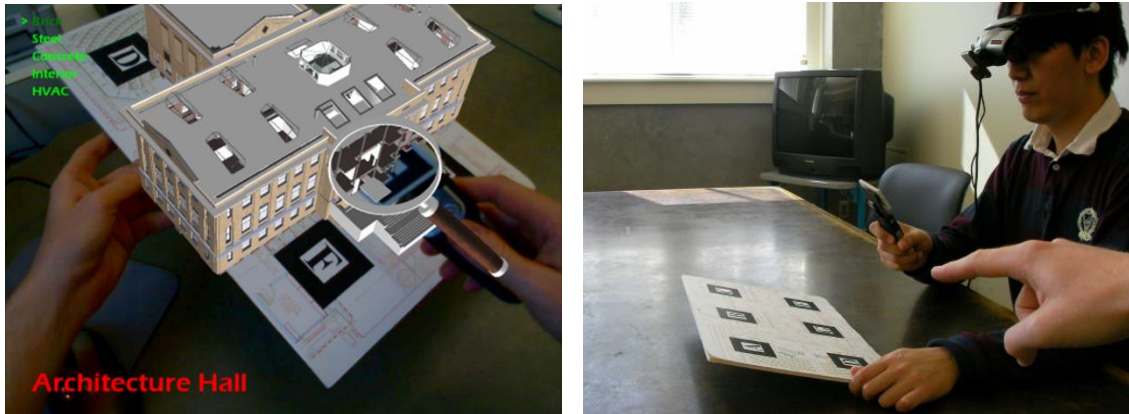


Figura 9: Utilização do sistema ARUDesigner (Figura adaptada de [28])

2.3.3 ARchitectureView

Apresentado por Belcher e Johnson [29], este sistema permite a visualização de modelos arquitetónicos de edifícios, especificamente modelos BIM, ou seja, conjuntos de informações que são geradas e guardadas desde a idealização de um projeto até ao seu fim de vida, em 3D, usando realidade aumentada com recurso a interface tangível e a interação através do conceito de *Magic Lens*. Este conceito é definido por elementos da interface, como, por exemplo, uma marca fiducial, que aplicam transformações a conteúdos que estão sob eles [30]. Neste caso a lente é usada para simular a sensação de uma lupa real ou filtro de informação, como é mostrado na Figura 10(a), e é controlada por meio de um dispositivo reconhecido e rastreado pelo sistema [31].

O ARchitectureView utiliza HMD equipado com uma *webcam*, para a visualização pelo utilizador das imagens captadas, e marcas fiduciais para visualizar os novos edifícios ou componentes (Figura 10(b)).



(a) Vista em primeira pessoa com utilização de Magic Lens

(b) Vista do sistema por um utilizador externo

Figura 10: Exemplo de utilização do sistema ARchitectureView (Figura adaptada de [29])

2.3.4 MxR

MxR é um sistema de realidade aumentada para suportar a colaboração durante as fases iniciais do desenvolvimento na área de arquitetura, apresentado por Belcher e Johnson [32]. Este sistema consiste na sobreposição do modelo 3D virtual (Figura 11(c)) sobre o físico, ou seja, uma maquete (Figura 11(d)), como é visível na Figura 12, permitindo que os vários intervenientes no projeto possam discutir e testar diversas hipóteses e visualizar os resultados. Para conseguir esta sobreposição são utilizadas marcas fiduciais formando uma plataforma (Figura 11(e)) onde são colocadas e alinhadas as maquetes, HMD (Figura 11(f)) equipado com uma *webcam* (Figura 11(a)) para visualizar o resultado da maquete aumentada e um computador (Figura 11(b)) para fazer o processamento da imagem com recurso ao *software* ARToolKit.

A interação com o utilizador pode ser feita com recurso a um dispositivo (Figura 11(g)), identificado pelo *software* por uma marca fiducial, que simula uma lupa e interage com a maquete aumentada. Este dispositivo pode também ser utilizado como ferramenta de seleção de recursos existentes no catálogo (Figura 11(i)). Também é possível simular e alternar entre as diferentes alturas do dia utilizando a rotação da marca fiducial (Figura 11(j)) em relação à marca padrão.

Revisão Bibliográfica

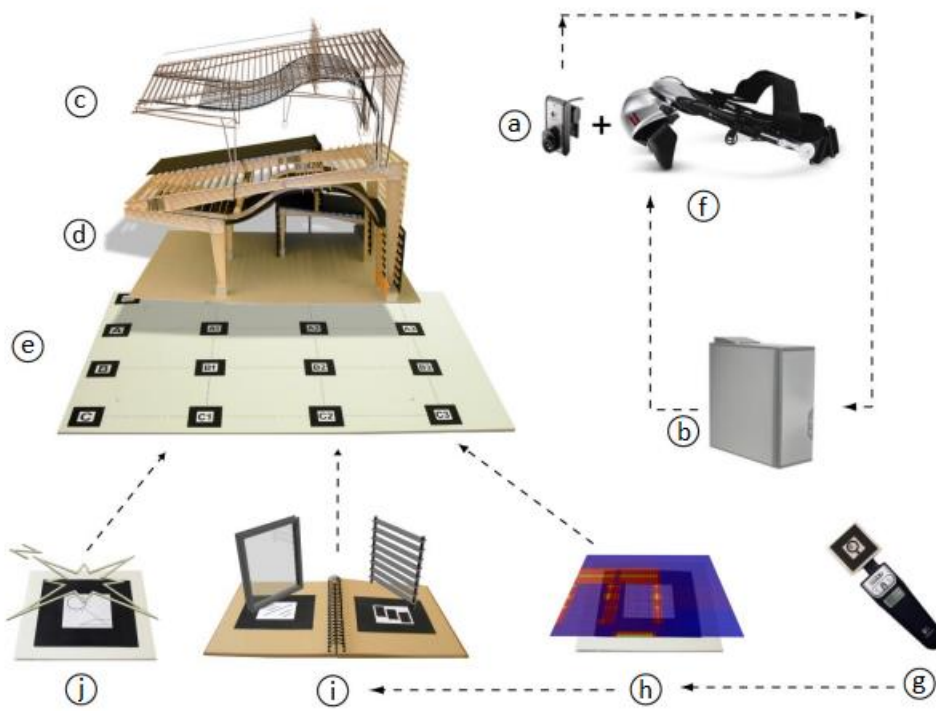


Figura 11: Arquitetura do sistema MxR (Figura adaptada de [32])

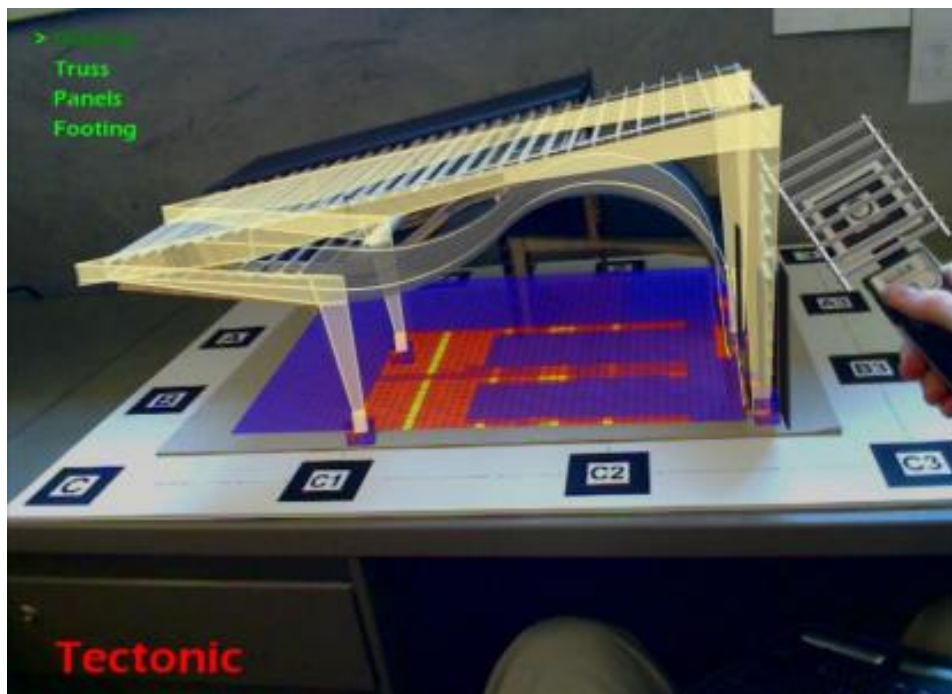


Figura 12: Vista em primeira pessoa do sistema MxR (Figura adaptada de [32])

2.3.5 AR-media Player

AR-media Player [33] permite ao utilizador visualizar os ficheiros de realidade aumentada criados pelos *plugins* desenvolvidos pela AR-media. Este funciona como um sistema normal de realidade aumentada com recurso a marcas fiduciais, tipo ARToolkit (ver seção 2.2.4.1), permitindo o corte de objetos 3D, gestão de camadas, sombras em tempo real e também a ligação entre duas ou mais marcas fiduciais.

Para a área de arquitetura, a AR-media possui *plugins* para 3ds Max, SketchUp, Vectorworks, entre outros, que permitem a exportação de modelos 3D criados nesses *softwares* para um formato reconhecido pelo AR-media Player, para depois serem visualizado sobre a marca fiducial [34], como mostra a Figura 13.

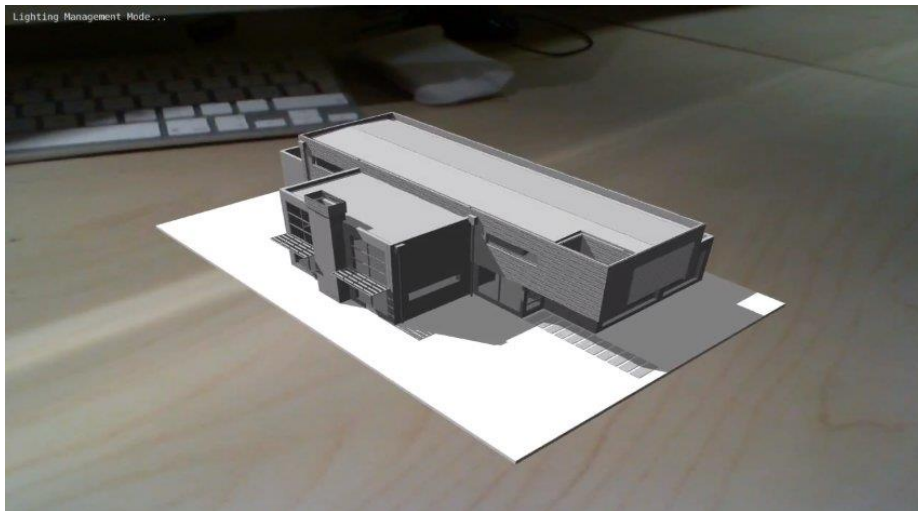


Figura 13: Modelo 3D visualizado através de realidade aumentada com o AR-media Player (Figura adaptada de [35])

2.4 Conclusão

A tecnologia em geral tem evoluído rapidamente nos últimos anos, e a realidade aumentada também tem acompanhado essa evolução, chegando a muitas áreas, como é o caso da arquitetura. A realidade aumentada já evoluiu de estática a móvel, de análise de marcas simples a análise da cena em profundidade, aumentando cada vez mais a sua interação com o utilizador.

Na área de arquitetura, já existem algumas aplicações de realidade aumentada para planeamento urbanístico, discussão entre os intervenientes no projeto ou apenas para ver as informações virtuais dos projetos, ainda que com marcas mais simples.

Revisão Bibliográfica

Com os dispositivos móveis a tornarem-se baratos e de fácil acesso ao utilizador comum, surgiram novos alvos para a expansão da realidade aumentada, substituindo a utilização de HMD.

Em conclusão, a realidade aumentada aplicada à arquitetura é uma área que já foi um pouco explorada na fase inicial da tecnologia, mas o seu crescente avanço permite a sua evolução contínua, dando novas opções de interações aos utilizadores.

Capítulo 3

Especificação do protótipo

Tendo em conta os objetivos e a metodologia desta dissertação, apresentados na secção 1.3, foram especificados os requisitos e a arquitetura do protótipo a ser implementado, baseados em funcionalidades recolhidas nas reuniões com os colaboradores interessados.

3.1 Requisitos do sistema

3.1.1 Requisitos funcionais

Das sessões de levantamento de requisitos realizadas, resultou a informação da Tabela 8, que pode ser consultada em versão mais detalhada no Anexo A, onde se listam todas as funcionalidades necessárias do protótipo e a sua prioridade. Desses requisitos resultaram os casos de uso apresentados nesta secção.

Os requisitos levantados, foram agrupados em 3 módulos: “Apresentação”, “Corte” e “Seleção”, como é apresentado na Figura 14.

O módulo de Apresentação (Figura 15) consiste no conjunto de funcionalidades que não são prioritárias, mas podem melhorar o ambiente virtual visualizado pelo utilizador. Este módulo deve permitir controlar animações pré-elaboradas, como, por exemplo, do movimento de pessoas ou carros na rua e gerir luzes interiores ou exteriores que sejam carregados no sistema e simulem diferentes períodos do ano ou do dia.

Especificação do protótipo

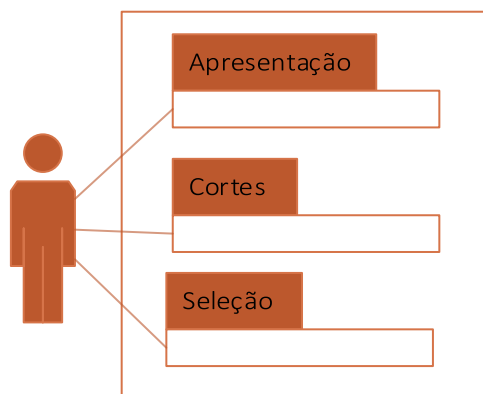


Figura 14: Módulos principais do protótipo

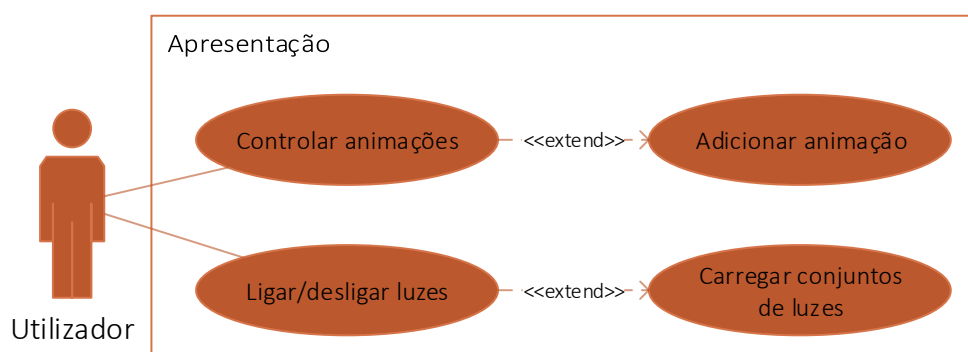


Figura 15: Casos de uso do sistema para o módulo de Apresentação

No módulo de Cortes (Figura 16), incluiu-se todas as funcionalidades ligadas à realização de um corte horizontal ou vertical. Os cortes verticais são executados sobre a planta, ou projeção horizontal do edifício, e permitem cortar o modelo num plano perpendicular ao solo, enquanto os cortes horizontais são executados sobre o alçado, ou projeção vertical do edifício, e permitem cortar o modelo num plano paralelo ao solo.

Este módulo deve permitir criar um corte numa posição do modelo com uma determinada orientação (horizontal ou vertical), podendo depois alterar a sua posição. Para melhorar a visualização da posição do corte deve possuir um plano visível ao utilizador, que possa ficar invisível quando for necessário.

No módulo de Seleção (Figura 17), incluiu-se todas as funcionalidades ligadas à interação com objetos do modelo, como, por exemplo, oclusão e seleção de objetos e modificação de cor e textura dos mesmos. Deve permitir a aplicação das funcionalidades anteriores a objetos simples, como, por exemplo, uma parede ou uma porta, a grupos de objetos, como, por exemplo, todas as paredes do modelo, e a objetos intermédios, como, por exemplo, paredes de uma divisão.

Especificação do protótipo

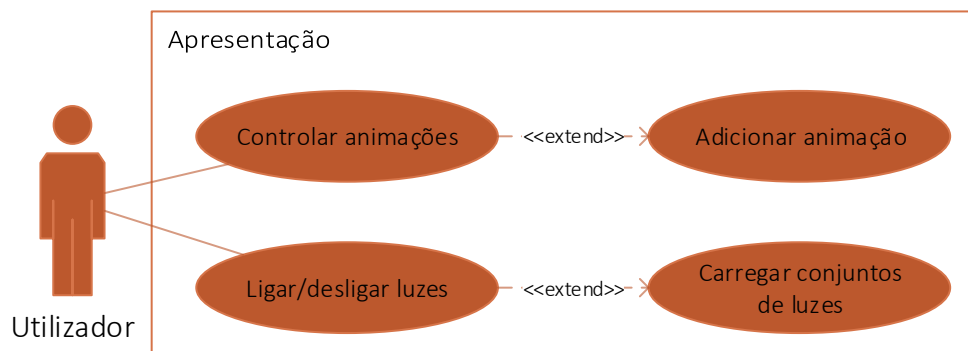


Figura 16: Casos de uso do sistema para o módulo de Cortes

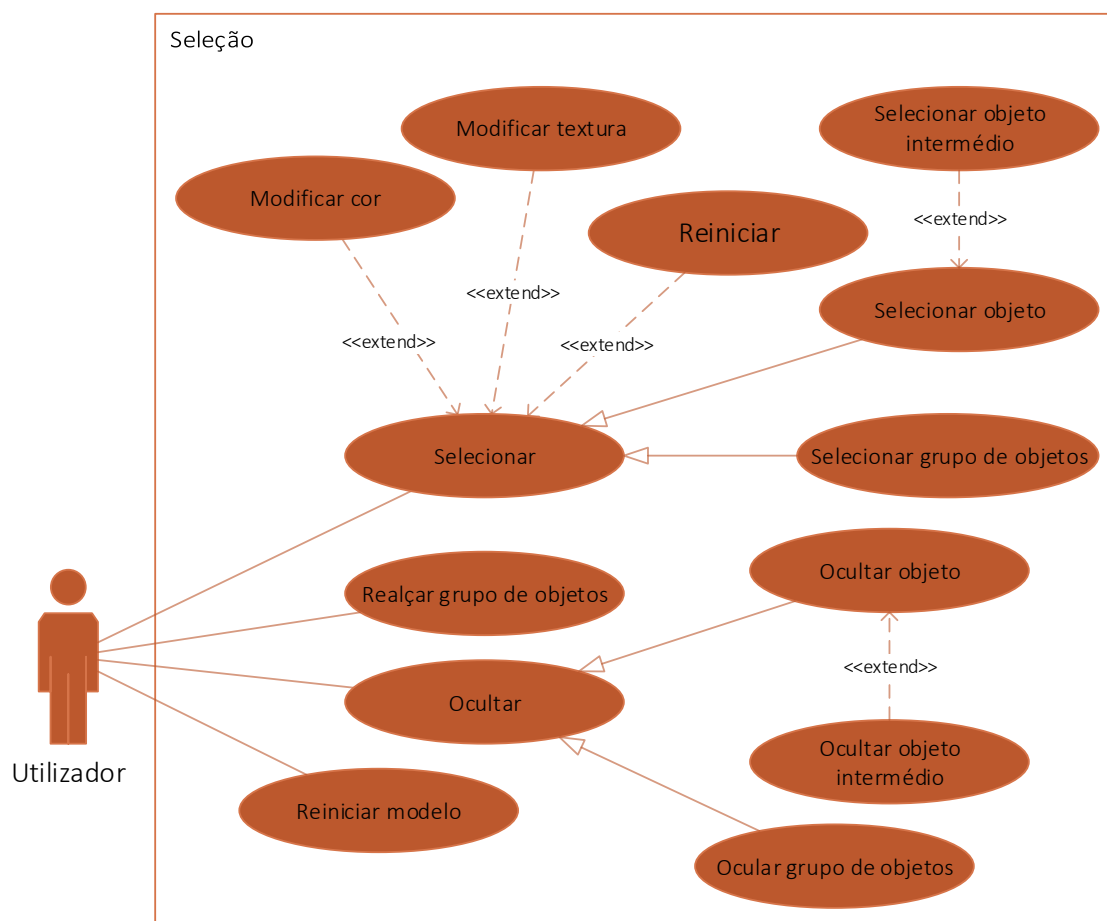


Figura 17: Casos de uso do sistema para o módulo de Seleção

3.1.2 Requisitos não-funcionais

O sistema deve permitir a visualização do modelo através de um *tablet* na versão final, mas, numa abordagem inicial, vai ser utilizado um computador portátil para desenvolvimento e teste das funcionalidades implementadas.

Especificação do protótipo

Este deve usar a API NUTTS para extração e seguimento de pontos característicos e o *OpenSceneGraph* (OSG) para *rendering* de gráficos 2D e 3D, conforme a arquitetura da aplicação fornecida para realidade aumentada da ADETTI-IUL [36], Centro de Investigação em SI e TI Avançados do Instituto Universitário de Lisboa, que vai ser utilizada como ponto de partida para o desenvolvimento do protótipo.

Em termos de interface, esta deve ser adaptada ao toque, com a utilização de botões suficientemente grandes para o utilizador os conseguir selecionar. Também deve ter texto simples com letras legíveis ao utilizador e poucos botões e menus espalhados pelo ecrã, mantendo acessíveis apenas os principais.

3.2 Arquitetura

3.2.1 Arquitetura lógica

A proposta de arquitetura para o protótipo, apresentada na Figura 18, consiste numa aplicação, que liga várias informações disponíveis num único sistema, ou seja, a imagem real com a informação virtual alinhada e visível ao utilizador. Esta aplicação recebe as imagens captadas pela câmara e os modelos virtuais 3D, faz o alinhamento dos modelos virtuais com as imagens captadas, e gera uma imagem 2D em que os objetos virtuais aparecem alinhados com os objetos do mundo real. Também processa as entradas do utilizador quando este pretende interagir com o sistema para executar as operações referidas na secção 3.1.1.

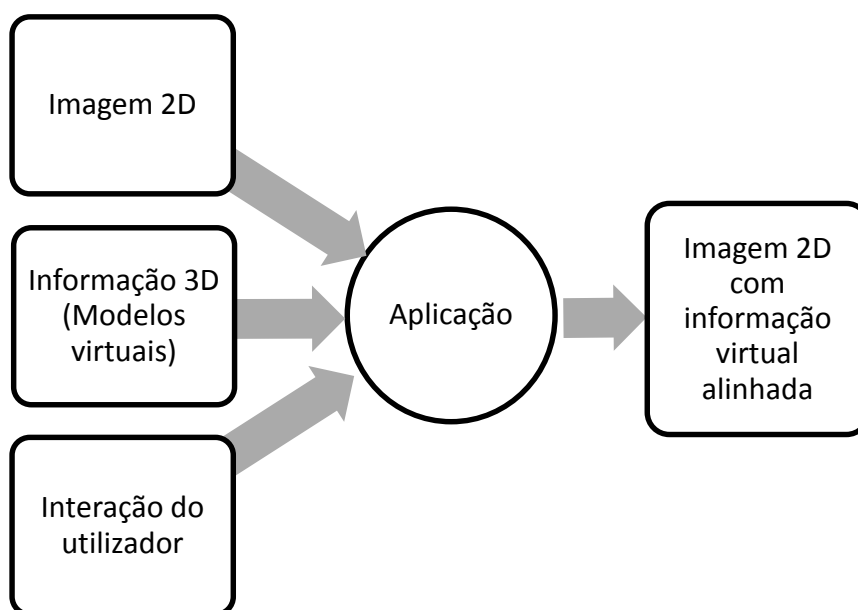


Figura 18: Arquitetura geral do sistema

Especificação do protótipo

Para que todas as informações de entrada sejam transformadas no resultado da aplicação, é necessário que esta possua quatro componentes principais, apresentados na Figura 19. A imagem 2D do mundo real, captada por meio de uma câmera, tem de ser fornecida ao sistema por um componente com acesso às *frames* de vídeo, ou seja, o módulo de Vídeo (Figura 19).

Também a informação 3D tem de ser lida, gerida e visualizada por um módulo de *Rendering* (Figura 19), permitindo que o modelo virtual possa ser visualizado e editado pelo utilizador. Para que a imagem vinda do módulo de Vídeo seja alinhada com o modelo virtual lido pelo *Rendering* é necessário existir um módulo de *Tracking* (Figura 19) de pontos característicos. Este módulo calcula a posição da câmera real e passa essa informação ao *Rendering* para criar uma câmera virtual com as mesmas características. Assim as informações real e virtual passam a estar alinhadas.

Para o utilizador interagir com o modelo é necessário o módulo de Interface (Figura 19) que recebe os comandos do utilizador e aplica as ações desejadas ao sistema. Este módulo serve de comunicação entre o utilizador e todo o sistema e aplica as ações desejadas no modelo através do módulo de *Rendering*.

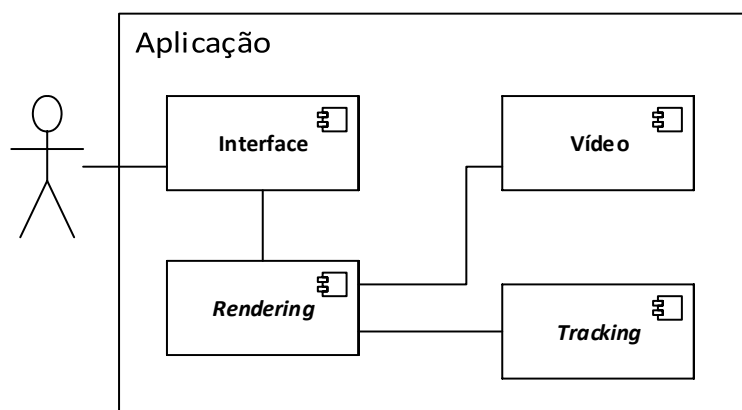


Figura 19: Arquitetura lógica da aplicação

3.2.2 Arquitetura física

Considerando os requisitos do sistema, a aplicação deve ser desenvolvida para *tablet*, permitindo uma maior mobilidade do utilizador e interação através do toque num ecrã maior que outros dispositivos móveis como *smartphones*. No módulo de *Tracking*, deve utilizar-se a API NUTTS para extração e seguimento de pontos característicos e, no módulo de *Rendering*, o *OpenSceneGraph* (OSG) para *rendering* do modelo e de toda a cena virtual. Foi também decidido que a aplicação seria desenvolvida em linguagem de programação C++, comum às API's utilizadas.

Para desenvolvimento da interface, procurou-se utilizar interação baseada em toque e gestos. Investigaram-se possíveis API's que facilitassem esse desenvolvimento, mas, verificou-

Especificação do protótipo

se que existiam algumas dificuldades no uso dessas API's em C++. Optou-se por utilizar o OSG também para desenvolvimento da interface.

3.3 Modelos da Interface

Durante a fase de especificação do protótipo, foram desenvolvidos, com a colaboração dos estudantes de arquitetura integrados no projeto, modelos da interface gráfica para suportar todas as funcionalidades e requisitos não-funcionais especificados anteriormente.

No planeamento da interface, decidiu-se utilizar os módulos criados na secção 3.1.1, para agrupar essas funcionalidades na interface. Assim, esta foi dividida em 3 modos: Modo de Apresentação, Modo de Cortes e Modo de Seleção. Para a comutação entre eles, definiu-se que esta seria feita pelo deslizar do dedo pelo ecrã e um texto com a identificação do modo ativo no momento apareceria por alguns segundos no ecrã.

No Modo de Apresentação (Figura 20) foi definida a interface para os casos de uso para o módulo de Apresentação, como o controlo das animações e o carregamento de luzes.

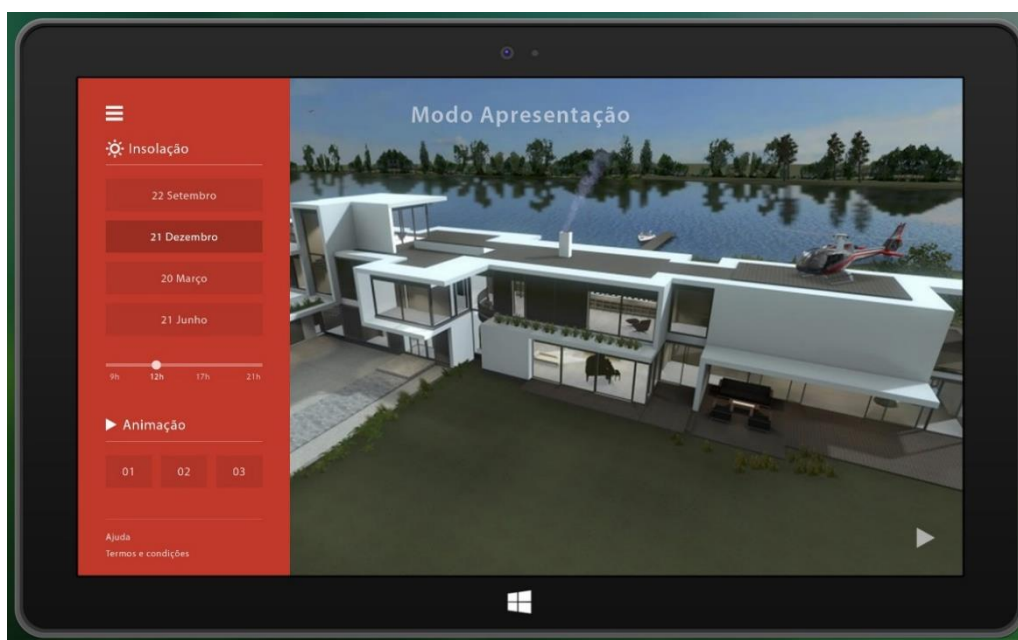


Figura 20: Modelo da interface no Modo de Apresentação

A interface do Modo de Cortes (Figura 21) permite usar as funcionalidades definidas no módulo de Cortes. As setas no canto inferior direito permitem alterar a posição do plano de corte e esse deslocamento é aplicado também na planta, colocada no menu, que permite visualizar a posição atual do corte. Com os botões colocados no menu, é possível a alteração entre corte vertical e horizontal, deslocação do corte para as outras laterais do modelo, a inversão da direção do corte ou a rotação livre do plano.

Especificação do protótipo

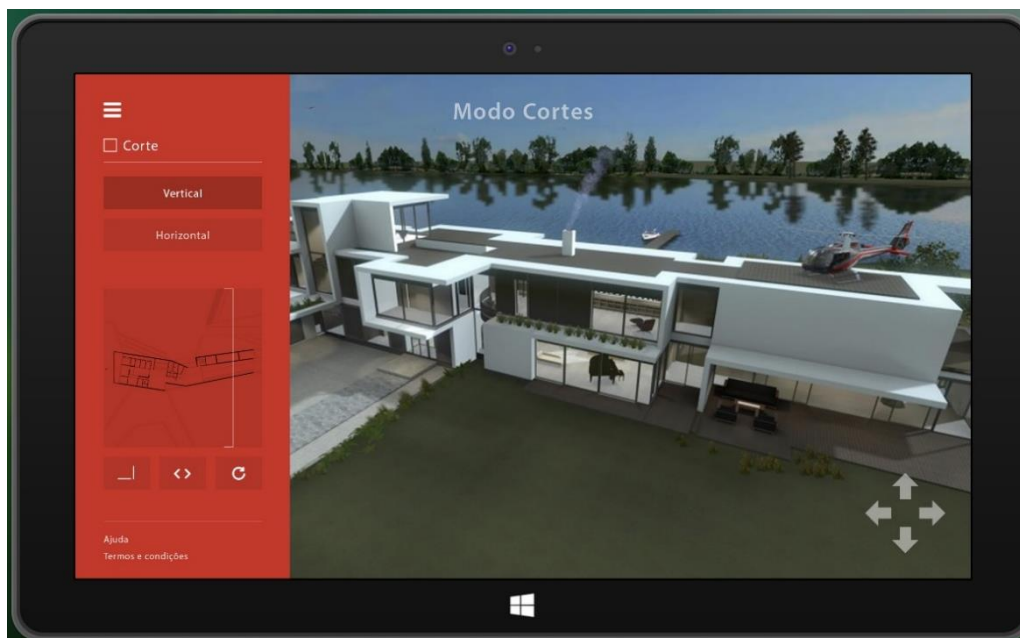


Figura 21: Modelo da interface no Modo de Cortes

Por último, o Modo de Seleção (Figura 22) foi definido com base nas funcionalidades do módulo de Seleção, permitindo realçar, ocultar e pintar objetos ou grupos de objetos. A interface permite a seleção de uma ferramenta (realçar, ocultar ou pintar) e a sua aplicação pode ser sobre um objeto selecionado pelo toque ou sobre uma das camadas (grupos de objetos) apresentados no menu.

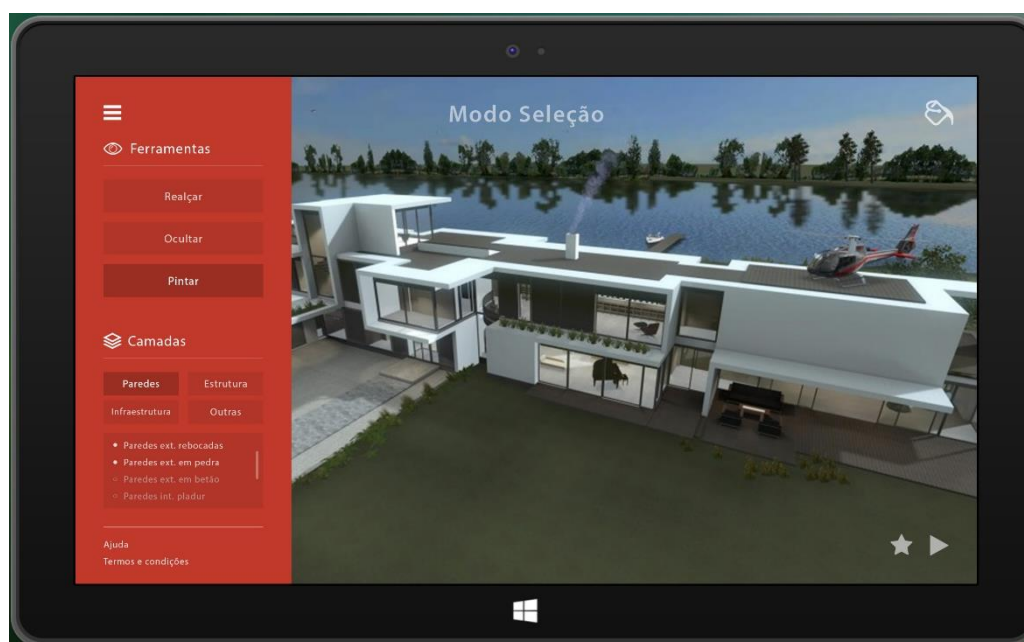


Figura 22: Modelo da interface no Modo de Seleção

Especificação do protótipo

No anexo B.1 encontram-se todos os modelos realizados durante a especificação do protótipo.

3.4 Conclusão

Neste capítulo foram apresentados os detalhes sobre os requisitos e a arquitetura do protótipo a ser implementado, bem como as tecnologias escolhidas para o desenvolvimento.

Nas reuniões realizadas com os colaboradores, elaboraram-se os requisitos do sistema, tanto funcionais como não-funcionais, de onde derivaram os casos de uso. Idealizou-se uma arquitetura, tendo em conta o objetivo da aplicação e as restrições recolhidas. As ferramentas selecionadas para o desenvolvimento, tendo em consideração essas restrições foram o NUTTS para extração e seguimento de pontos característicos e o OSG para *rendering* de gráficos 2D e 3D na aplicação.

Finalmente, produziram-se modelos da interface que serviram de base para o desenvolvimento da interface do protótipo.

Capítulo 4

Desenvolvimento do Protótipo

Neste capítulo é apresentado o desenvolvimento das principais funcionalidades e da interface do protótipo com a arquitetura, requisitos e tecnologias definidos no capítulo anterior, bem como alguns problemas de implementação que surgiram no decorrer do desenvolvimento e a forma como foram abordados.

4.1 OpenSceneGraph

O OSG [37] é uma API *open source* que disponibiliza um conjunto de ferramentas para o desenvolvimento de aplicações gráficas de elevado desempenho, como jogos, simuladores e aplicações de realidade aumentada. Baseada no conceito de grafo de cena, esta API encapsula a maioria de funcionalidades incluídas na API do OpenGL [38], fornecendo ao utilizador novas funcionalidades e um desenvolvimento mais rápido.

O grafo de cena é uma estrutura que define as relações espaciais e lógicas de uma cena gráfica para uma gestão e apresentação eficiente dos dados gráficos [39]. É representado normalmente por um grafo orientado em árvore, composto por um conjunto de nós que incluem um nó raiz, nós grupo, com qualquer número de nós filhos, e nós folha, que não possuem nenhum nó como filho e que se encontram na camada inferior da árvore. Cada nó pode representar uma transformação geométrica, um objeto virtual ou até uma luz ou câmara na cena.

A Figura 23 mostra um exemplo de um grafo de cena, em que a cena virtual contém uma árvore, o solo, uma luz e uma câmara. O nó raiz do grafo contém toda a cena, enquanto os nós folha são constituídos por objetos virtuais simples (solo, copa e tronco da árvore) ou são elementos da cena (câmara e luz).

Desenvolvimento do Protótipo

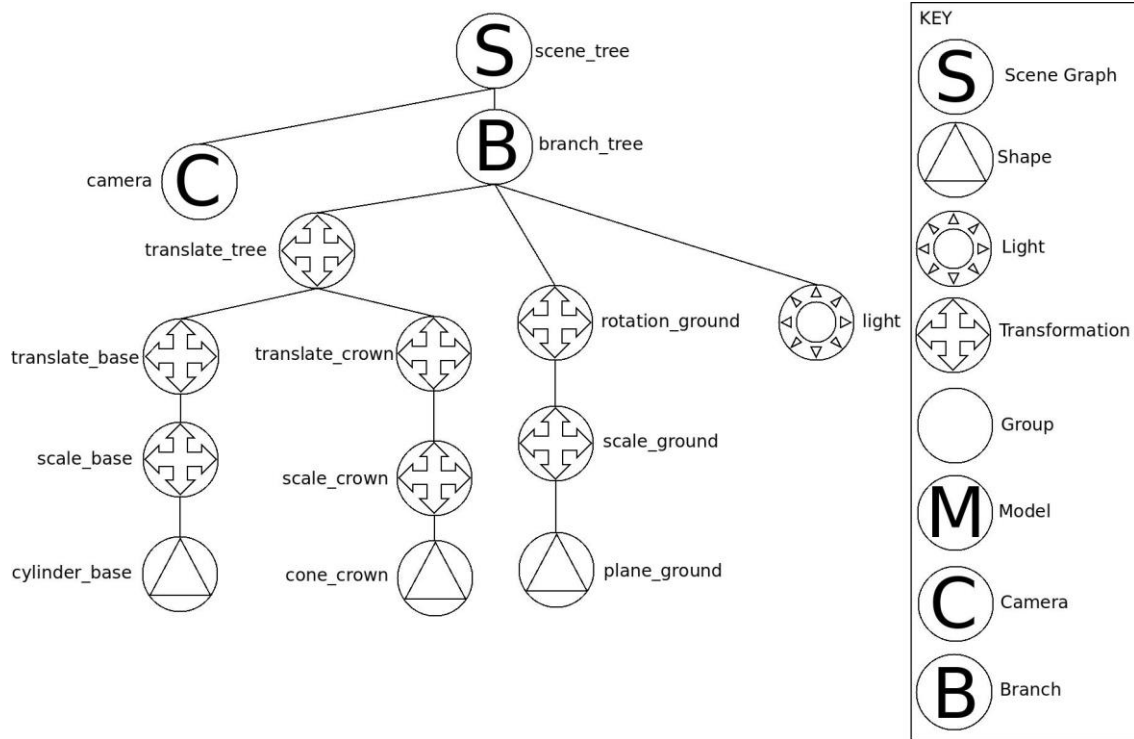


Figura 23: Exemplo de um grafo de cena (Figura adaptada de [40])

Um grafo de cena típico não permite ciclos, onde alguns nós estão ligados numa cadeia fechada, nem um elemento isolado, ou seja, que não possui nenhum pai ou filho, no seu interior [39].

Cada grupo pode ter qualquer número de filhos, permitindo que partilhem informação do nó pai e que sejam tratados como um só [39]. Normalmente, uma operação realizada pelo pai propaga o seu efeito a todos os seus filhos. Podem existir nós que tenham mais que um pai, em que, neste caso, o nó é considerado instanciado e o grafo de cena é definido como um grafo acíclico dirigido (DAG - Directed Acyclic Graph). A instanciação permite a partilha de informação e múltipla representação do mesmo nó, ou seja, é atravessado múltiplas vezes durante a rotina de representação gráfica do grafo de cena.

4.2 Funcionalidades

As funcionalidades do protótipo foram implementadas de acordo com os requisitos apresentados no capítulo anterior, tirando partido das funcionalidades que o OSG oferece com o conceito de grafo de cena.

Foi fornecida pela ADETTI-IUL uma aplicação que já permitia, através do OSG, ler um modelo virtual, e receber um *frame* de vídeo da câmara. Esse frame é processado com recurso à API NUTTS com o objetivo de detectar o padrão usado como referência e de calcular a posição

Desenvolvimento do Protótipo

e orientação da câmara real, usada na aquisição. A informação sobre a câmara real, retornada pelo NUTTS, é utilizada pelo OSG para a criação de uma câmara virtual igual à primeira. Usando uma câmara virtual com os mesmos parâmetros da câmara real para fazer o *rendering* dos objetos virtuais, estes aparecerão alinhados com os objetos do mundo real. Se houvesse uma alteração da posição da câmara real ou da marca, a posição é recalculada e passada ao OSG para actualizar também a câmara virtual.

Numa primeira fase, o protótipo foi desenvolvido para correr num computador portátil, e a maior parte das funcionalidades eram realizadas através do teclado e do rato, servindo como interface entre o utilizador e a aplicação.

A primeira funcionalidade a ser implementada foi a criação de um corte no modelo, que se procurou realizar, inicialmente, com a utilização de uma câmara virtual auxiliar, criada pelo OSG. Cada câmara possui uma área que contém todos os objetos visíveis no ecrã, chamada de *Viewing Frustum*. Essa área é limitada pela pirâmide do campo de visão e plano de corte anterior e posterior (Figura 24). Com a alteração da posição da câmara secundária e dos planos de limite do *Viewing Frustum*, poderia ser possível a utilização destes para o corte do modelo.

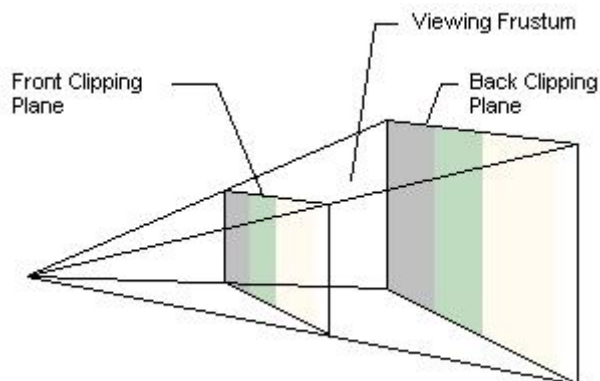


Figura 24: Representação do *Viewing Frustum* (Figura adaptada de [41])

No entanto verificou-se que existia, em alternativa, a classe *ClipNode* [42] para criar um plano adicional (*ClipPlane*) aos 6 planos da área de visão, permitindo cortar as geometrias da cena. Com este plano e uma função para o controlar através do teclado foi possível realizar vários cortes no modelo 3D, sem a necessidade de criação de outra câmara.

Com intuito de auxiliar a percepção do deslocamento do plano de corte na fase anterior ao desenvolvimento da interface, foi criada uma superfície plana colorida (Figura 25) sobre este para que fosse visível ao utilizador. Esta funcionalidade podia ser ligada e desligada, mostrando ou ocultando a superfície da cena.

Desenvolvimento do Protótipo

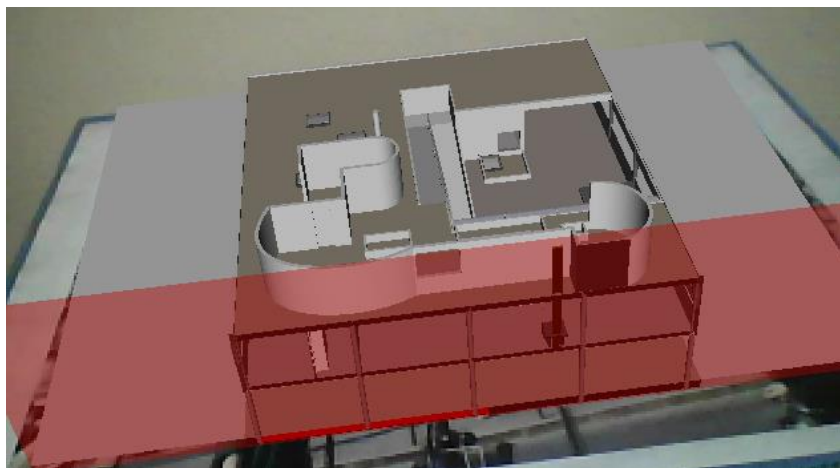


Figura 25: Corte vertical com plano auxiliar para visualização da posição

Como é visível na Figura 25, o interior dos objetos cortados permanece com uma cor mais escura que os restantes elementos do plano, dando essa sensação de corte, devido à remoção do *backface culling*, ou seja, deixando o utilizador ver a face interior do objeto, ainda que sem cor. Esta funcionalidade é extremamente importante em arquitetura, dando uma expressão de espaço e uma melhor interpretação do modelo.

Nas funcionalidades do módulo de Seleção, como ocultar os objetos, pintá-los ou mudar a sua textura (Figura 26), utilizou-se as características dos nós do grafo de cena, “máscara”, “material” e “textura” do nó, respetivamente, para realizar essas alterações. A própria estrutura do grafo de cena, ao passar essas alterações para os nós filhos, permitiu implementar rapidamente funcionalidades de ocultar ou realçar grupos de objetos, como paredes, estruturas, infraestruturas ou outros objetos.

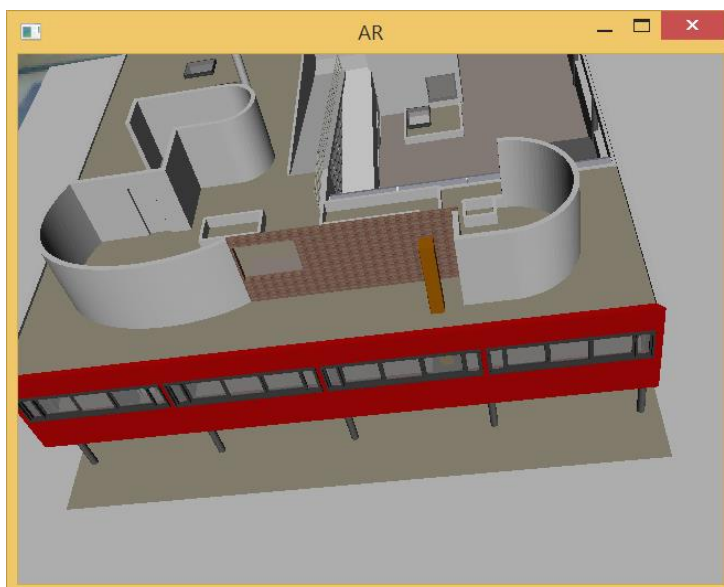


Figura 26: Alterações (pintar e aplicar textura) aplicadas a objetos

Desenvolvimento do Protótipo

De maneira a auxiliar a interação através do teclado com todas as possibilidades das alterações referidas a objetos ou grupos de objetos, criou-se três modos, modo de “ocultar”, “pintar” e “aplicar textura”. Estes modos, apenas utilizados na versão inicial, aplicam a funcionalidade do modo ativa naquele momento ao grupo de objeto ou objeto selecionado, pela seleção da tecla correspondente ou por *picking*, respetivamente. O *picking* consiste na seleção de um objeto através do toque sobre o mesmo.

O requisito de realçar estruturas, infraestruturas, paredes e outros elementos, ou seja, grupos de objetos (Figura 27), foi alcançado alterando a cor do nó correspondente ao grupo e a transparência do material dos restantes, permitindo que apenas um grupo de objetos fosse identificado.

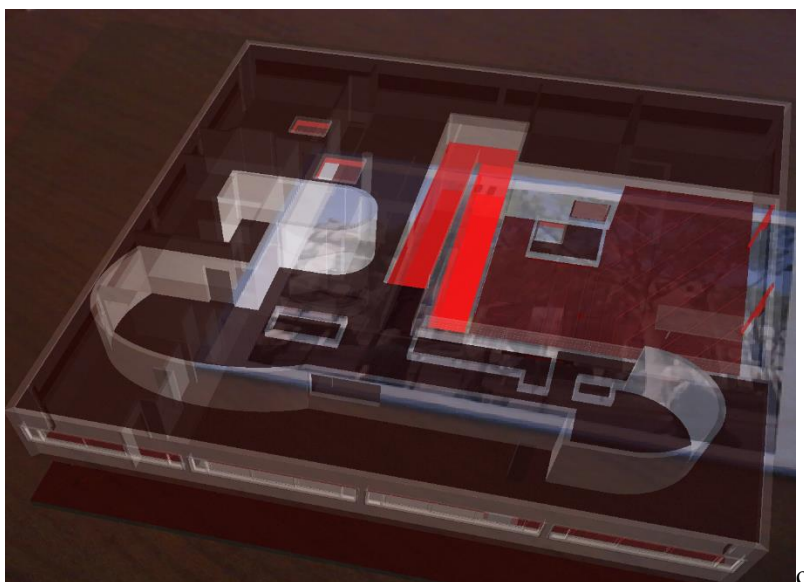


Figura 27: Realce das estruturas do edifício

Outras funcionalidades necessárias mas de menor relevo foram desenvolvidas, como a função de reiniciar um objeto ou todo o modelo e a seleção ou oclusão de objetos intermédios. Nesta última utilizou-se o grafo de cena e as funções de interação sobre ele que OSG possui, para percorrer o grafo desde os objetos mais simples (nós folha) até à cena na totalidade (nó raiz).

Os requisitos do módulo de apresentação, por terem uma prioridade inferior à dos restantes requisitos e por falta de luzes ou animações para teste, foram suspensos, apesar de ter sido incluído código na aplicação para implementação destas funcionalidades.

4.3 Interface

Para implementar uma interface adequada para dispositivos móveis, procurou-se utilizar interação baseada em toque e gestos, procurando possíveis API que facilitassem esse desenvolvimento. Devido à aplicação ser desenvolvida em C++ e não existir grande facilidade em encontrar uma API gráfica que utilizasse essa linguagem, optou-se por construir uma interface gráfica com recurso à ferramenta de *rendering*, OSG, que também permite construir cenas 2D. Assim as imagens colocadas no ecrã em 2D sobre a cena 3D funcionavam como botões para a interface, simulando um HUD, como visível na Figura 28.



Figura 28: Interface do Modo de Apresentação

Essas imagens, fornecidas pelos estudantes de arquitetura do ISCTE-IUL, foram aplicadas hierarquicamente na cena, criando um novo ramo no grafo de cena específico para a interface. Esta abordagem facilitou a oclusão ou alteração de grupos de botões, referentes a um determinado modo, quando existe uma ação do utilizador para ocultar o menu ou mudar de modo.

Como especificado na secção 3.3, o protótipo teria de utilizar na totalidade o ecrã do *tablet*, dando uma maior sensação de imersão ao utilizador. A aplicação utilizada como ponto de partida captava uma imagem da câmara com uma resolução de 320x240 ou 640x480, que era utilizada tanto no *tracking* como no ecrã para o utilizador visualizar, mas em ecrã total perdia muita qualidade. Para a visualização, tentou-se captar uma imagem com a resolução máxima permitida pela câmara que, no caso do *tablet* e computador portátil utilizado, é 1280x720, mas a imagem transmitida ao NUTTS teria de ter a mesma resolução da calibração, que, neste caso, é 320x240. Para resolver o problema foi feito um escalamento da imagem captada para a

Desenvolvimento do Protótipo

resolução de *tracking* e essa imagem escalada foi utilizada internamente para o NUTTS. Mas, devido às proporções das imagens serem diferentes, pois a imagem visualizada era de 16:9 e a imagem para *tracking* de 4:3, foi necessário encontrar uma resolução para o vídeo inferior à resolução máxima mas com proporção de 4:3. Depois de alguns testes para saber qual a resolução a ser utilizada, utilizou-se uma resolução de 320x240 no *tracking* e 640x480 na visualização. Estas resoluções podem ser alteradas no ficheiro de configurações utilizado pelo protótipo, mantendo a proporção das duas resoluções.

A interface para alterar a posição do corte através de botões na interface, planeada nos modelos, não teve o resultado esperado de interação, por isso nas funcionalidades de alterar a posição de corte e alterar a interface consoante o modo ativo resolveu-se utilizar gestos, como arrastar o dedo no ecrã, utilizando algumas funções da API do Windows (WinAPI). Foi utilizada esta API pois mostrou resultados positivos na captação de um gesto simples. No caso do toque no ecrã, foi utilizado o OSG para toque normal e toque longo, pois a API possui funções que auxiliam na seleção de objetos da cena pelo toque no ecrã.

Assim, a alteração entre o Modo de Apresentação, o Modo de Cortes e o Modo de Seleção foi realizada pelo movimento de arrastar do dedo do utilizador para a esquerda ou para a direita. Para a funcionalidade de alteração de corte, que utiliza o mesmo movimento, foi necessário tornar inequívoca a ação do utilizador. Desta maneira, criou-se um botão com o formato de cadeado no Modo de Cortes (ver Figura 29), com a funcionalidade de bloquear a alteração de modo a permitir a alteração da posição do plano.

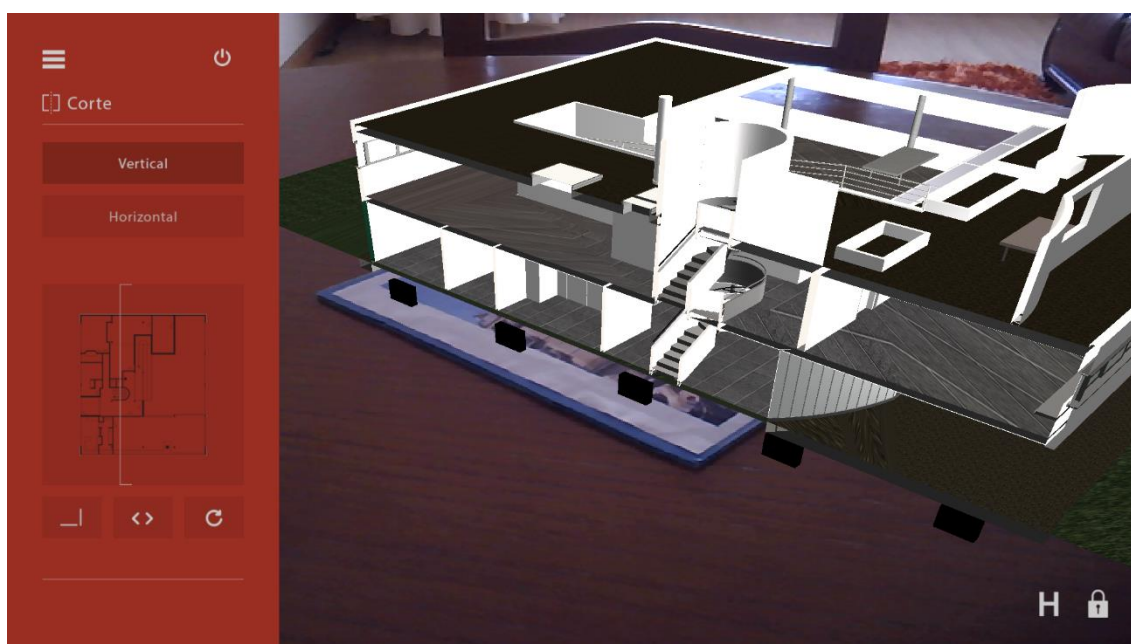


Figura 29: Realização de um corte no edifício, recorrendo a interface tátil

Desenvolvimento do Protótipo

Como mostra a Figura 29, a posição do plano de corte é indicada, no menu lateral, pela linha sobre a planta ou o alçado do edifício a ser visualizado, facilitando a percepção da posição pelo utilizador.

Também pela Figura 30, é facilmente perceptível a ação ativa no menu, em cada momento, neste caso, a oclusão, devido à alteração do estado dos botões, permitindo que apenas um entre o grupo fique selecionado (cor escura). Esta funcionalidade foi desenvolvida com recurso a duas imagens de cada botão do grupo, ou seja, botão ligado e desligado, que são trocadas na interface de cada vez que existe mudança da ação selecionada.

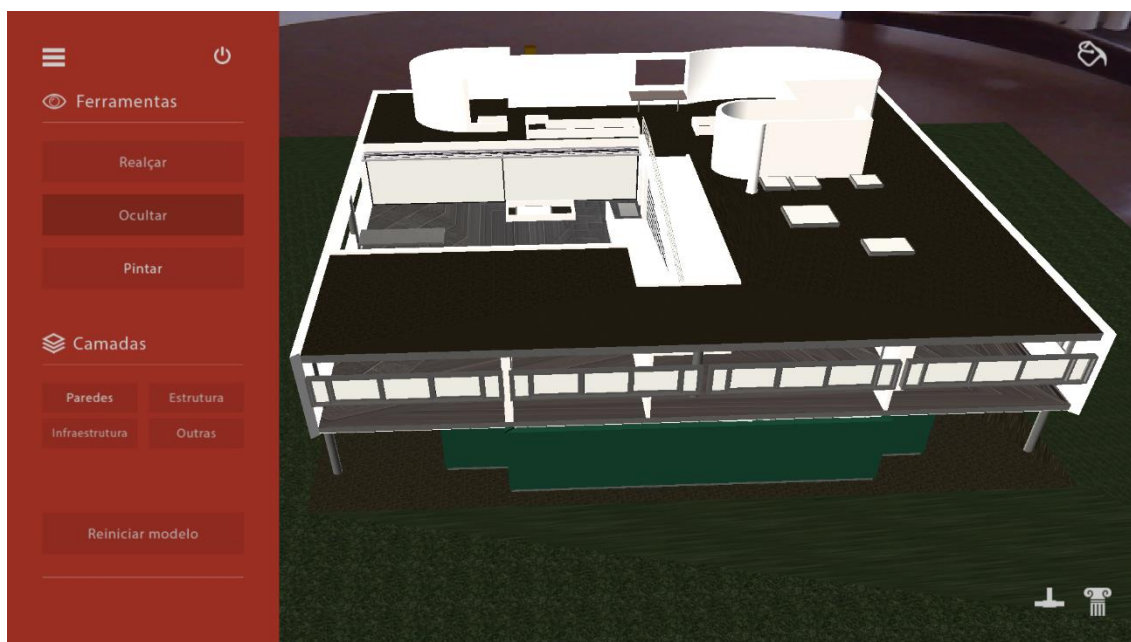


Figura 30: Oclusão de um objeto no modelo

Outras imagens da interface que mostram as funcionalidades implementadas podem ser visualizadas no anexo B.2.

Algumas funcionalidades, como a aplicação de texturas alteração de cores ou ação envolvendo objetos intermédios, desenvolvidas no protótipo, não puderam ser mapeadas para a nova interface por necessitarem de menus mais complexos que não foi possível desenvolver em tempo útil.

4.4 Conclusão

Neste capítulo foi apresentada a implementação do protótipo, tendo em conta os requisitos especificados no capítulo 3.

As principais funcionalidades foram implementadas com sucesso, ficando apenas alguns requisitos com menor grau de prioridade que foram desenvolvidos mas não foram incluídos na

Desenvolvimento do Protótipo

interface ou que não foram desenvolvidos por causa de alguns problemas encontrados. Se tivesse havido mais algum tempo disponível para o desenvolvimento todas essas funcionalidades poderiam ter sido incluídas.

Capítulo 5

Avaliação da usabilidade

Usando o protótipo desenvolvido descrito nos capítulos anteriores, foi realizado um estudo com utilizadores ligados à área de arquitetura com a finalidade de avaliar a sua usabilidade. Este estudo realizou-se nas instalações do ISCTE-IUL, durante uma semana em Maio, e contou com estudantes e professores dessa instituição como participantes.

Neste capítulo são apresentados a metodologia, os resultados e as conclusões retiradas este estudo. No Anexo C são apresentados, com maior detalhe, os dados recolhidos durante os testes de usabilidade.

5.1 Metodologia

A avaliação da usabilidade efetuada serviu para avaliar a execução de simples tarefas descritas na secção 5.4.

No início de cada sessão individual, os participantes foram informados do contexto e objetivo da avaliação e foi-lhes pedido que respondessem a um inquérito preliminar, usado para recolha de dados do participante. Para dar início à sessão, foi feita uma apresentação do protótipo aos participantes, que permitiu demonstrar o seu funcionamento.

Durante a sessão, foi pedido aos participantes para executar as tarefas estabelecidas, na presença de um observador, que tirou notas sobre as ajudas pedidas, resultado de cada tarefa e factos que o observador considerou relevante. Sempre que quisessem, os participantes poderiam falar com o observador, fazendo observações ou comentários sobre o protótipo ou o teste, sem que este pudesse interferir na sessão, a menos que solicitado. No fim da execução de todas as tarefas, foram recolhidas algumas opiniões expressas pelos participantes. Cada sessão foi

Avaliação da usabilidade

realizada individualmente, num ambiente controlado e com recurso ao mesmo *hardware* e *software*.

No final da sessão de avaliação, foi pedido a cada utilizador para responder a dois pequenos inquéritos, um em relação à utilidade do protótipo e outro focando a usabilidade da interface do protótipo.

5.2 Hardware

Para testar o protótipo foi usado um *tablet* Samsung XE700T1C-H01PT com as seguintes características:

- Processador: Intel Core i5-3317U a 1.70GHz
- Memória: 4 GB RAM
- Placa gráfica: Intel HD Graphics 4000
- Sistema Operativo: Windows 8.1 Enterprise 64-bit

5.3 Participantes

Para este estudo recrutámos 16 estudantes do Mestrado Integrado em Arquitetura e convidou-se 4 docentes do curso para participarem no estudo como peritos, com o objetivo de validar os resultados obtidos.

Inicialmente foram realizados inquéritos preliminares aos participantes, consoante a sua categoria de estudante ou perito, que podem ser consultados nas seções C.2 e C.3 do Anexo C, respetivamente.

Os estudantes, do segundo ao quinto ano do curso, tinham idades entre os 20 e os 51 anos e possuíam em média boa experiência em TIC e uma utilização diária de dispositivos móveis, como *tablets* e *smarthphones*. Os peritos tinham uma média de 20 anos (mediana de 18 anos) de atividade profissional na área de Arquitetura e, apesar de utilizarem o computador diariamente, a sua relação com as TIC era, em média, apenas razoável, e um deles destacava-se por não ter nenhuma experiência de utilização de dispositivos móveis.

5.4 Tarefas

As tarefas escolhidas para a sessão de avaliação foram elaboradas a partir das principais funcionalidades do protótipo, como a realização de um corte, o realce de um grupo de objetos e a oclusão de um único objeto. Na Tabela 1 estão apresentadas as tarefas que os participantes tiveram que realizar e as respetivas sub-tarefas. A tarefa de inicialização de visualização do

Avaliação da usabilidade

modelo em realidade aumentada não foi pedida diretamente ao participante, pois estava implícita na realização de todas as outras tarefas. Estas sub-tarefas representam ações do participante e são utilizadas para avaliar com maior pormenor o sucesso ou as suas dificuldades.

Tarefa	Sub-tarefa
Inicialização	1. Dirigir câmara para a marca 2. Visualizar/Explorar o modelo 3D
Realizar corte	3. Mudar para Modo de Cortes 4. Alterar posição do corte
Ocultar	5. Mudar para Modo de Seleção 6. Abrir o menu 7. Selecionar a opção ocultar 8. Selecionar um objeto
Realçar	9. Realçar um grupo

Tabela 1: Sub-tarefas realizadas pelos participantes por cada tarefa

A primeira tarefa selecionada foi a realização de um corte no edifício visualizado (Figura 31), em que o participante tinha que colocar o protótipo em Modo de Cortes e alterar a sua posição arrastando o dedo sobre o ecrã.

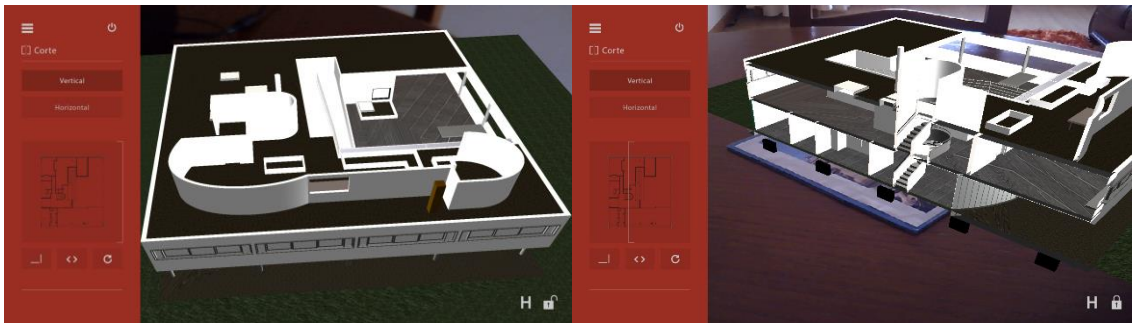


Figura 31: Tarefa de realizar um corte

A tarefa seguinte era realçar um grupo de objetos à escolha do participante, em que o participante tinha que colocar o protótipo no Modo de Seleção, abrir o menu e seleccionar o grupo a realçar, como é mostrado na Figura 32.

Avaliação da usabilidade



Figura 32: Tarefa de realçar uma camada

Por último era pedido ao participante que ocultasse um objeto do modelo, selecionando a opção de ocultar e, de seguida, tocando sobre o objeto a ocultar. No caso ilustrado na Figura 33, a parede próxima ao utilizador foi ocultada.



Figura 33: Tarefa de ocultar um objeto

5.5 Métodos de análise

Os métodos de análise utilizados neste estudo são híbridos, com análise qualitativa e quantitativa de resultados.

Como resultados qualitativos são considerados os seguintes:

- Resultado da tarefa: se a tarefa foi completada com sucesso ou não
- Observações: notas retiradas pelo observador sobre os participantes durante a sessão
- Opiniões: opiniões gerais sobre o teste, pedidas no final da sessão

Como resultados quantitativos são considerados:

- Tempo total de execução: tempo, em minutos, desde a primeira instrução dada aos participantes até à realização da última tarefa

- Número de ajudas em cada tarefa: número de vezes que o observador teve que intervir para ajudar o participante

5.6 Resultados

Nesta secção são apresentados e analisados os resultados das tarefas realizadas pelos participantes, bem como os resultados qualitativos recolhidos. Esta secção também apresenta as respostas aos inquéritos dadas pelos participantes no fim da sessão de avaliação.

5.6.1 Resultados da Sessão

A mediana dos tempos totais obtidos nos testes foi 3:00 minutos, com um tempo máximo de 8:00 minutos e mínimo de 2:00 minutos. Os tempos recolhidos são meramente informativos, ou seja, não podem ser usados para avaliar as execuções das tarefas, pois o tempo contabilizado para alguns participantes foi superior ao efetivamente necessário para a realização das tarefas, por estes terem feito pausas para dar a sua opinião sobre o sistema durante a realização das mesmas.

Em relação ao número de ajudas prestadas em cada sub-tarefa, para análise, estas foram agrupadas por erros cometidos em que o participante necessitou de ajuda, realçando assim as principais dificuldades. Os erros identificados na avaliação realizada foram: o desconhecimento de como mudar para outro modo na interface, a falha na aquisição da imagem usada como referência para posicionamento do modelo virtual do edifício, a não utilização da função do cadeado e a dificuldade de seleção de um objeto.

Como pode ser observado na Tabela 2, o principal erro foi a falta de utilização do cadeado, para bloquear ou desbloquear a mudança de modo e poder mover o plano de corte, falhando assim a sub-tarefa 4. Outro problema encontrado que necessitou de um elevado número de ajudas foi a mudança de modo, que ocorreu na sub-tarefa 3 e 5, maioritariamente a participantes que não se lembravam da interação necessária para mudar de modo.

Erros	Número de ajudas
Não conseguir mudar de modo	6
Não inicializar o teste	1
Não usar o cadeado	8
Não seleccionar objeto	1

Tabela 2: Quantidade de ajudas por cada erro cometido

Avaliação da usabilidade

Analisando os resultados das sub-tarefas realizadas pelos participantes, apresentados na Figura 34, a maior parte dos participantes cumpriu com facilidade as tarefas propostas, realçando a sub-tarefa 3 e 4, onde existiu uma maior dificuldade devido aos erros apresentados anteriormente. Todos os participantes acabaram por completar todas as tarefas, apesar de algumas dificuldades

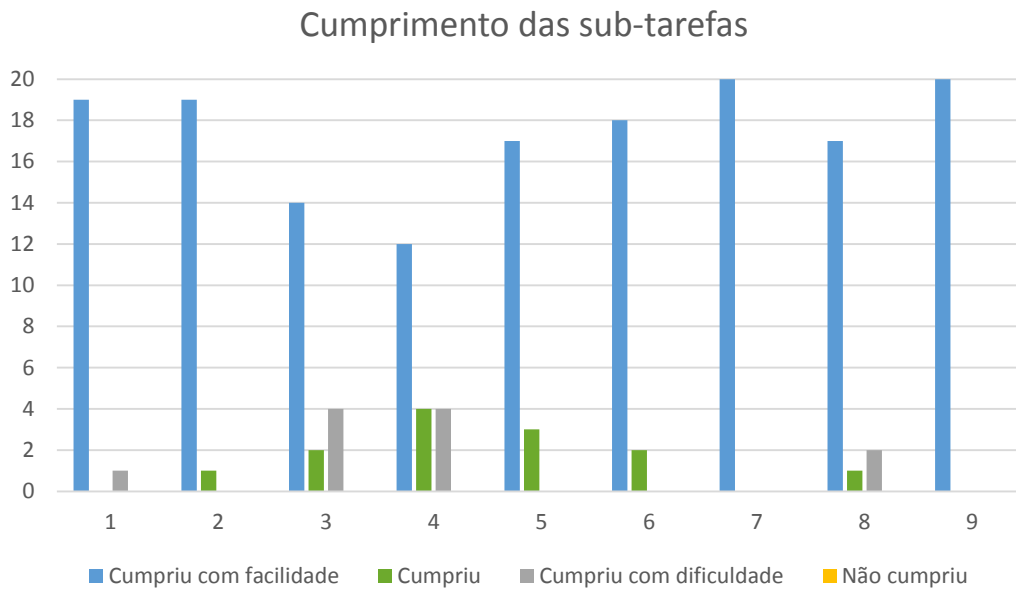


Figura 34: Resultados das sub-tarefas realizadas

No final do teste, a maior parte dos participantes encontrava-se satisfeito. A Figura 35 mostra os resultados dos dados recolhidos pelo observador em relação à disposição dos participantes no final da sessão, podendo concluir que estes se encontravam satisfeitos com o teste e a aplicação. Apenas um participante se mostrou surpreso com a tecnologia a ser usada. As principais verbalizações feitas pelos participantes indicam um protótipo “interessante”, com “mais possibilidades de interação” e “utilidade na conceção de projeto e, especialmente, para conseguirmos testar os nossos modelos”.

Apesar disso, alguns participantes apontaram que “ainda pode ser bastante melhorado”, como a “falta *feedback*”, o “cadeado não é intuitivo”, e que “as opções mais importantes deviam estar realçadas”. Os participantes 17 e 20 opinaram que este tipo de aplicações “não substitui a maquete”. O participante 7 considerou que o peso do *tablet* dificulta a seleção de objetos quando este está apoiado só numa mão.

Avaliação da usabilidade

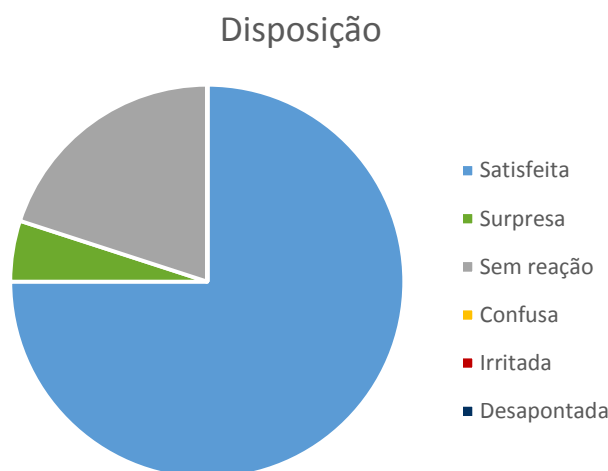


Figura 35: Disposição dos participantes no final da sessão

A maior parte dos participantes cumpriu com facilidade as tarefas propostas. A tarefa que necessitou de mais ajuda foi a alteração da posição do corte, maioritariamente devido ao esquecimento de bloquear a mudança de estado para poder mover o plano de corte. Mas depois de dada a ajuda, o desbloqueio da mudança de estado já não necessitou de uma nova ajuda.

Surgiram também algumas dificuldades na primeira alteração de modo (Modo de Apresentação para Modo de Cortes) pois, como o participante 1 apontou, “faltava uma indicação na interface, como por exemplo, setas” que demonstrasse a maneira de alterar.

5.6.2 Resultados dos Inquéritos

Primeiro vão ser apresentados os resultados do inquérito sobre a utilidade do protótipo. Na Tabela 3 encontra-se a análise dos resultados do Inquérito de Satisfação, relativos apenas aos estudantes, elaborada a partir dos dados apresentados na Figura 36. Os estudantes consideram que a solução facilita a visualização e interação com os modelos 3D e que é útil no processo de conceção em arquitetura.

No caso dos peritos, depois de analisados os resultados recolhidos no Inquérito de Satisfação (Figura 37), observou-se que estes concordavam com as afirmações feitas no teste (Tabela 4), mas de forma menos assertiva que os estudantes, mostrando alguma indiferença na pergunta 4, sobre o controlo do projeto em arquitetura na aplicação, e na pergunta 6 sobre a utilidade da aplicação.

Avaliação da usabilidade

Resultados Estudantes

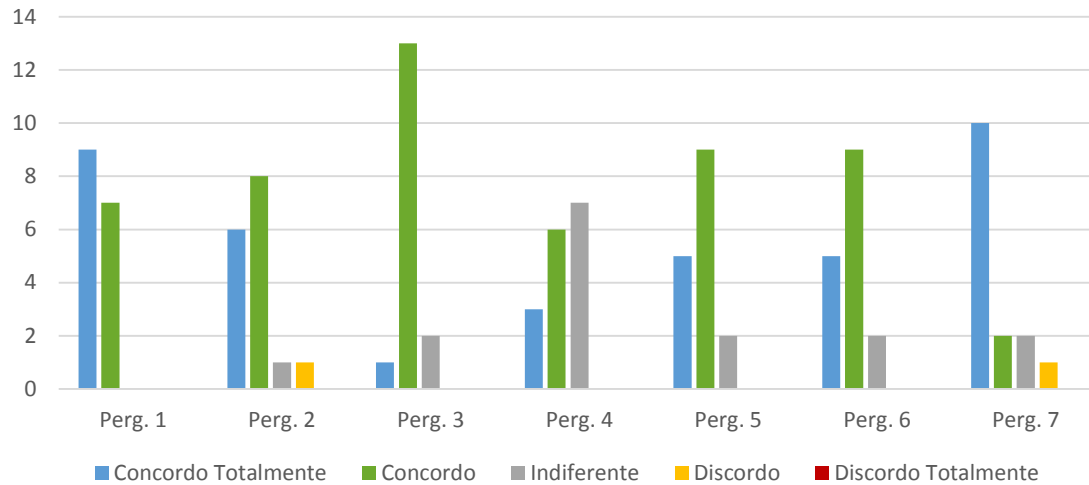


Figura 36: Resultados da pergunta 1 à 7 (Tabela 3) do Inquérito de Satisfação (ver C.5) realizado aos estudantes

	Média	Mediana
1. Esta solução facilita a visualização e interação com modelos 3D em arquitetura.	4,6 (Concordo Totalmente)	5 (Concordo Totalmente)
2. Esta solução promove o teste de novas ideias na fase de conceção	4,2 (Concordo)	4 (Concordo)
3. A utilização da aplicação acrescenta informação ao processo de conceção.	3,9 (Concordo)	4 (Concordo)
4. A utilização da aplicação dá-me uma maior controlo sobre o projeto	3,8 (Concordo)	4 (Concordo)
5. A utilização da aplicação torna mais compreensível o projeto durante o processo de conceção	4,2 (Concordo)	4 (Concordo)
6. Na generalidade, considero útil a aplicação no processo de conceção em arquitetura	4,2 (Concordo)	4 (Concordo)
7. Sinto-me disposto a aprender a utilizar estas tecnologias /dispositivos?	4,4 (Concordo)	5 (Concordo Totalmente)

Tabela 3: Análise dos resultados da pergunta 1 à 7 do Inquérito de Satisfação (ver C.5) realizado aos estudantes

Avaliação da usabilidade

Resultados Peritos

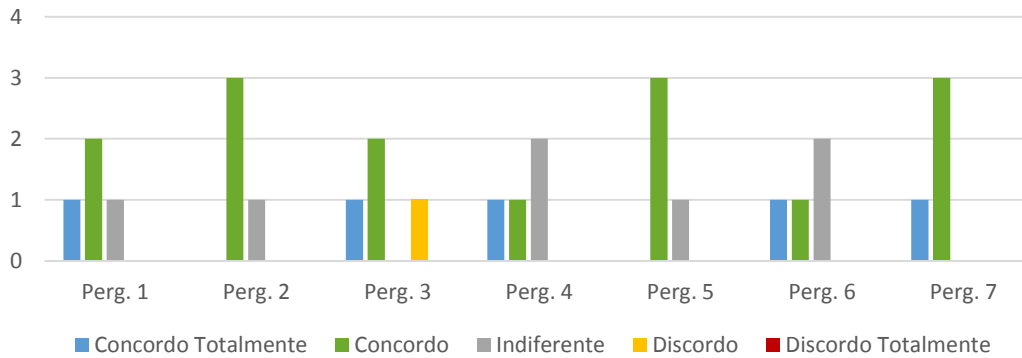


Figura 37: Resultados da pergunta 1 à 7 (Tabela 4) do Inquérito de Satisfação (ver C.5) realizado aos peritos

	Média	Mediana
1. Esta solução facilita a visualização e interação com modelos 3D em arquitetura.	4 (Concordo)	4 (Concordo)
2. Esta solução promove o teste de novas ideias na fase de conceção	3,8 (Concordo)	4 (Concordo)
3. A utilização da aplicação acrescenta informação ao processo de conceção.	3,8 (Concordo)	4 (Concordo)
4. A utilização da aplicação dá-me uma maior controlo sobre o projeto	3,8 (Concordo)	3,5 (Concordo)
5. A utilização da aplicação torna mais compreensível o projeto durante o processo de conceção	3,8 (Concordo)	4 (Concordo)
6. Na generalidade, considero útil a aplicação no processo de conceção em arquitetura	3,8 (Concordo)	3,5 (Concordo)
7. Sinto-me disposto a aprender a utilizar estas tecnologias /dispositivos?	4,3 (Concordo)	4 (Concordo)

Tabela 4: Análise dos resultados da pergunta 1 à 7 do Inquérito de Satisfação (ver C.5) realizado aos peritos

Analisando a resposta à pergunta 8 do Inquérito de Satisfação, sobre o grau de confiança depositado na tecnologia, os participantes, no geral, mostraram um grau médio alto (Figura 38).

Analisando as respostas à pergunta 9, sobre as características que os estudantes mais e menos valorizaram na aplicação, apresentadas na Figura 39, as três principais características que estes mais valorizaram são a facilidade de demonstração de projetos, a facilidade de utilização e de visualizar novas ideias. Em relação às características que os estudantes menos valorizaram, as três principais são o *design*, ser divertido e o seu uso ser intuitivo.

Avaliação da usabilidade

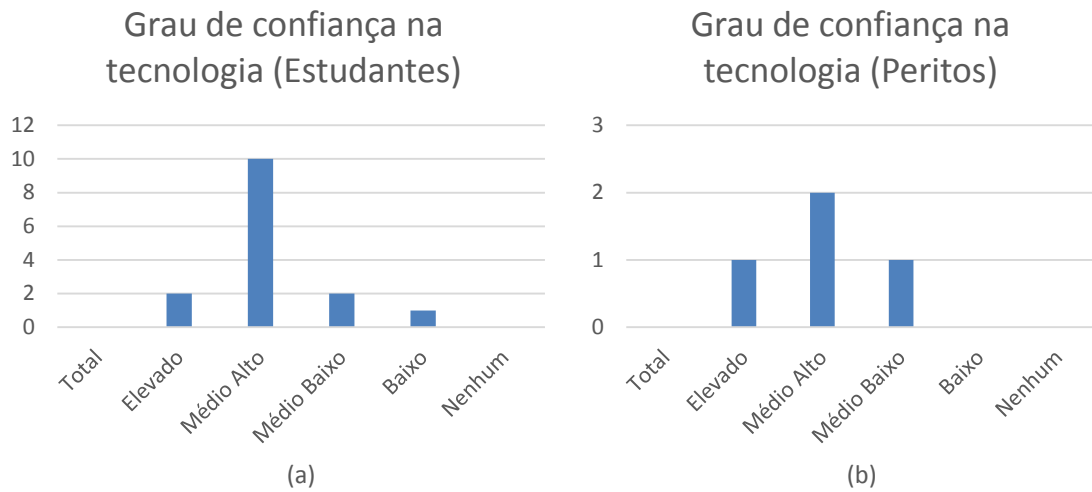


Figura 38: Grau de confiança na tecnologia do protótipo dos (a) estudantes e (b) peritos

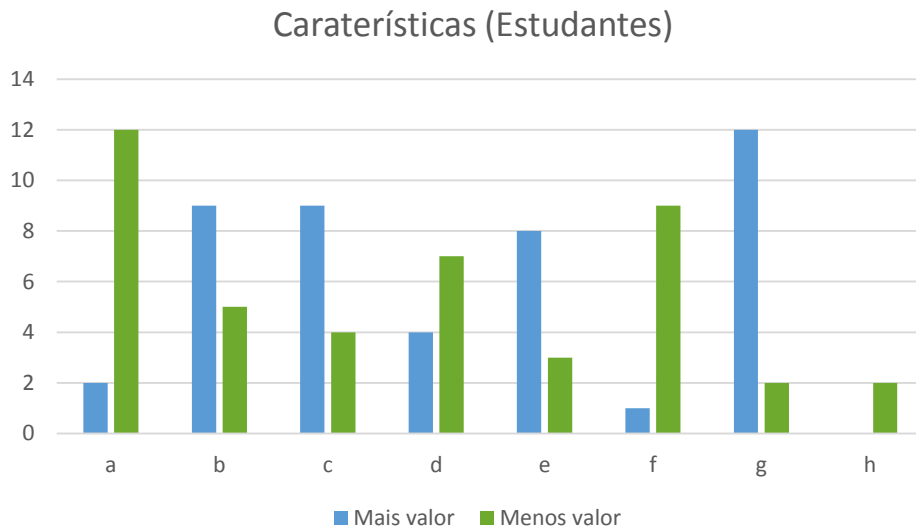


Figura 39: Caraterísticas (ver Tabela 5) mais e menos valorizadas pelos estudantes

	Caraterísticas
a	<i>O design</i>
b	A facilidade de utilização
c	O facilitar a visualização de novas ideias
d	O seu uso ser intuitivo
e	A interatividade
f	Ser divertido

Avaliação da usabilidade

g	O facilitar a demonstração projetos
h	Nenhuma das anteriores

Tabela 5: Legendas das caraterísticas

No caso das respostas dos peritos à pergunta 9 (Figura 40), as principais caraterísticas que estes mais valorizaram são a facilidade de demonstração de projetos, a facilidade de utilização e ser divertido. Em relação às caraterísticas que os peritos menos valorizaram, as principais são o *design* e a facilidade de visualização de novas ideias.

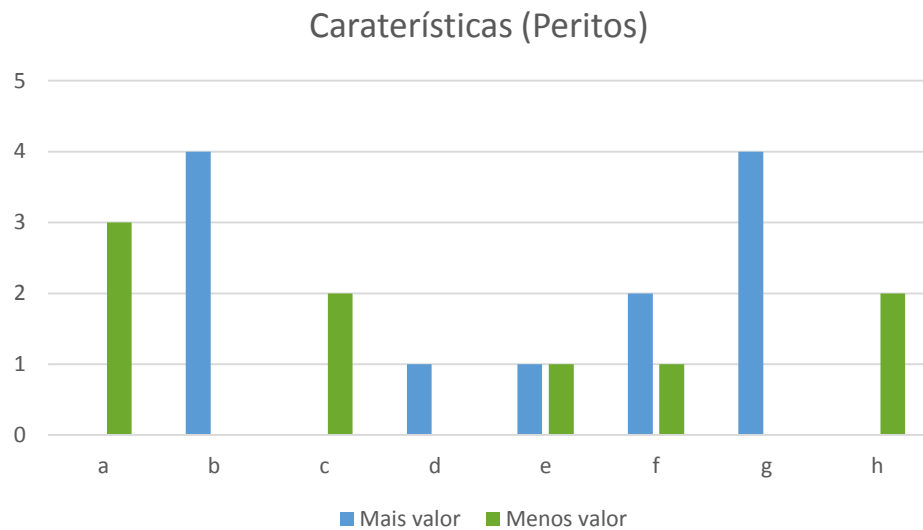


Figura 40: Caraterísticas (ver Tabela 5) mais e menos valorizadas pelos peritos

Por último vão ser apresentados os resultados e análises do inquérito sobre a usabilidade do protótipo (C.6). Na Tabela 6 encontra-se a análise dos resultados desse inquérito, filtrados por participantes estudantes, elaborada a partir dos dados apresentados na Figura 41.

Os estudantes classificam a aplicação positivamente (Tabela 6), realçando a facilidade de aprendizagem e o tamanho dos botões apresentados. Apesar dos resultados serem todos positivos, os estudantes classificaram o grau de satisfação com a sua utilização e a resposta da aplicação às ações com valores mais baixos.

Já os peritos classificam a aplicação como muito boa (Tabela 7), realçando o entendimento dos textos apresentados, o tamanho dos botões apresentados e à facilidade de utilização. As classificações mais baixas, apresentadas pelos peritos, foram as mesmas apresentadas pelos estudantes.

Avaliação da usabilidade

Usabilidade (Estudantes)

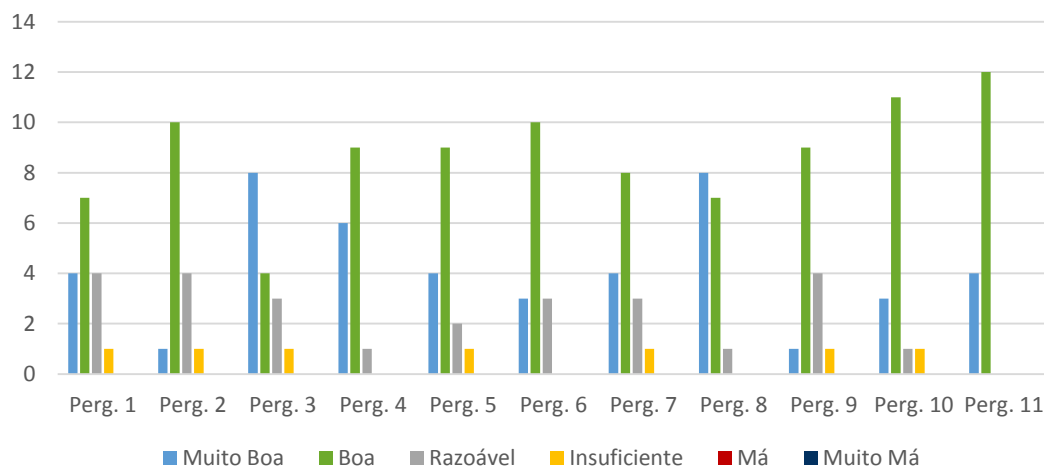


Figura 41: Resultados do inquérito de usabilidade (ver C.6) realizado aos estudantes

Classificação da aplicação quanto:	Média	Mediana
1. À facilidade de utilização	4,9 (Boa)	5 (Boa)
2. Ao grau de satisfação com a sua utilização	4,7 (Boa)	5 (Boa)
3. À facilidade de aprendizagem	5,2 (Boa)	5,5 (Muito Boa)
4. À obtenção dos resultados esperados (como por exemplo, queria fazer um corte e consegui)	5,3 (Boa)	5 (Boa)
5. À semelhança da forma de funcionamento nas diferentes tarefas (como por exemplo aceder a diferentes opções)	5,0 (Boa)	5 (Boa)
6. À possibilidade de interagir pelo toque	5,0 (Boa)	5 (Boa)
7. Ao entendimento dos textos apresentados	4,9 (Boa)	5 (Boa)
8. Ao tamanho dos botões apresentados	5,4 (Boa)	5,5 (Muito Boa)
9. Às respostas da aplicação às suas ações	4,7 (Boa)	5 (Boa)
10. Ao saber o que estava a acontecer na aplicação durante a sua utilização	5,0 (Boa)	5 (Boa)
11. Grau de satisfação global com a aplicação	5,3 (Boa)	5 (Boa)

Tabela 6: Análise do inquérito de usabilidade (ver C.6) realizado aos estudantes

Avaliação da usabilidade

Usabilidade (Peritos)

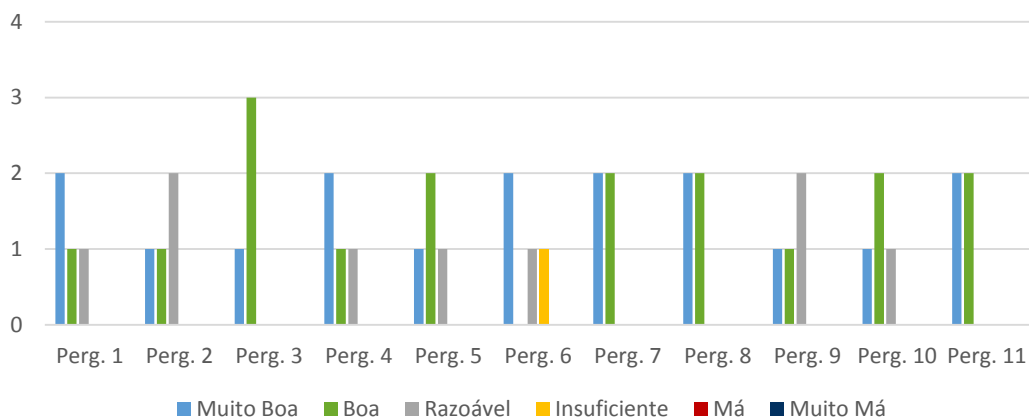


Figura 42: Resultados do inquérito de usabilidade (ver C.6) realizado aos peritos

Classificação da aplicação quanto:	Média	Mediana
1. À facilidade de utilização	5,3 (Boa)	5,5 (Muito Boa)
2. Ao grau de satisfação com a sua utilização	4,8 (Boa)	4,5 (Boa)
3. À facilidade de aprendizagem	5,3 (Boa)	5 (Boa)
4. À obtenção dos resultados esperados (como por exemplo, queria fazer um corte e consegui)	5,3 (Boa)	5,5 (Muito Boa)
5. À semelhança da forma de funcionamento nas diferentes tarefas (como por exemplo aceder a diferentes opções)	5,0 (Boa)	5 (Boa)
6. À possibilidade de interagir pelo toque	4,8 (Boa)	5 (Boa)
7. Ao entendimento dos textos apresentados	5,5 (Muito Boa)	5,5 (Muito Boa)
8. Ao tamanho dos botões apresentados	5,5 (Muito Boa)	5,5 (Muito Boa)
9. Às respostas da aplicação às suas ações	4,8 (Boa)	4,5 (Boa)
10. Ao saber o que estava a acontecer na aplicação durante a sua utilização	5,0 (Boa)	5 (Boa)
11. Grau de satisfação global com a aplicação	5,5 (Muito Boa)	5,5 (Muito Boa)

Tabela 7: Análise do inquérito de usabilidade (ver C.6) realizado aos peritos

5.7 Conclusão

Os resultados apresentados neste capítulo indicam que os participantes gostaram da aplicação e acharam fácil de usar, apesar desta ainda se encontrar uma versão inicial.

Os resultados da sessão de avaliação foram satisfatórios, tendo todos os participantes concluído as tarefas pedidas. A usabilidade da aplicação, analisada pelos participantes em média, é boa, apesar de o *design* ser uma das características que menos valorizaram. Os participantes concordam que a aplicação facilita a interação com modelos 3D e promove o teste de novas ideias. Também dá um maior controlo sobre o projeto, acrescentando informação ao processo de conceção em arquitetura e tornando-o mais compreensível. Finalmente estes afirmam que consideram útil a aplicação no processo de conceção em arquitetura, estando dispostos a aprender a usar a tecnologia.

Apesar de todos os bons resultados apresentados, foram sugeridas pelos participantes algumas melhorias, como, por exemplo, sinalização da mudança de modo por meio de setas e uma melhoria ao nível do *design* da interface da aplicação.

Capítulo 6

Conclusões e Trabalho Futuro

Para o *design* em arquitetura são necessários métodos de representação das informações existentes sobre o projeto. Essas representações podem ser físicas, utilizando maquetes, ou virtuais, utilizando modelos 3D desenvolvidos em ferramentas CAAD.

Apesar de a maquete ainda desempenhar um papel fundamental como instrumento no processo criativo do arquiteto e para o planeamento e conceção de projetos, existem algumas dificuldades associadas à sua utilização que podem ser ultrapassadas com o uso de modelos ou objetos virtuais, onde é possível explorar e alterar a visualização de detalhes, que seria impossível ou teria um custo demasiado elevado numa maquete física.

Com o objetivo de auxiliar os arquitetos a ultrapassar as dificuldades atrás enunciadas no processo atual de conceção em arquitetura, o Microsoft Language Development Center, em colaboração com o Departamento de Arquitetura e Urbanismo do Instituto Universitário de Lisboa (ISCTE-IUL), realizaram uma proposta para resolução do problema. A hipótese colocada consistia no uso da tecnologia da visualização e interação em realidade aumentada com o modelo virtual 3D do projeto de arquitetura, na mesma escala da maquete de estudo, neste caso, através de um dispositivo do tipo *tablet*.

Durante a revisão bibliográfica efetuada, foram apresentadas algumas aplicações de realidade aumentada na área de arquitetura, provando que a aplicação da tecnologia era possível. Também se investigaram as tecnologias para o uso da realidade aumentada, como bibliotecas e dispositivos, viáveis de serem usados no projeto.

Seguindo uma metodologia de investigação, no capítulo 3, foram apresentados os requisitos, elaborados a partir de sessões com colaboradores na área de arquitetura, e a arquitetura do protótipo a desenvolver que resultaram na implementação de uma aplicação de realidade aumentada para visualização e interação com modelos 3D.

De maneira a atingir o principal objetivo da dissertação, que era demonstrar a hipótese, foi realizada uma avaliação da usabilidade ao protótipo desenvolvido. Nesta avaliação, os

participantes tiveram de executar algumas tarefas simples, como realizar um corte, realçar um grupo e ocultar um objeto, pedidas pelo observador, que tomava nota do cumprimento ou não das tarefas e de algumas observações durante as sessões. Também era pedido aos participantes que preenchessem dois pequenos inquéritos finais, um em relação à utilidade do protótipo e outro focando a usabilidade da interface do protótipo.

Os resultados da sessão de avaliação foram satisfatórios, com todos os participantes a concluírem as tarefas pedidas. Os participantes concordam que a aplicação facilita a interação com modelos 3D e promove o teste de novas ideias. Também dá um maior controlo sobre o projeto, acrescentando informação ao processo e tornando-o mais compreensível. Finalmente, estes afirmam que consideram útil a aplicação no processo de conceção em arquitetura, estando dispostos a aprender a usar a tecnologia.

6.1 Satisfação dos Objetivos

A hipótese levantada nesta dissertação enunciava que:

“A visualização e interação com modelos virtuais de projetos de arquitetura à escala das maquetes de estudo, utilizando tecnologia de realidade aumentada consumida num dispositivo do tipo *tablet*, são benéficas para o processo de conceção em arquitetura, do ponto de vista de análise iterativa de conceitos e ideias e da compreensão do projeto de arquitetura”.

A partir desta hipótese e do objetivo de a demonstrar, foram definidos dois objetivos secundários:

O1: Levantar os requisitos e desenvolver e testar um protótipo demonstrável de um sistema que permita a visualização de informação virtual, ou seja, de modelos virtuais 3D de projetos de arquitetura incluindo edifícios e envolvente exterior, usando realidade aumentada consumida num dispositivo do tipo *tablet*.

O2: Desenvolver um estudo de avaliação da usabilidade do protótipo desenvolvido, analisar os respetivos resultados e demonstrar a hipótese, nomeadamente, que o protótipo beneficia de facto os arquitetos no seu processo atual de conceção, através da visualização e manipulação interativa de modelos virtuais de projetos à escala das maquetes de estudo.

Com o cumprimento do O1, ou seja, desenvolvimento do protótipo, realizou-se o estudo de avaliação da sua usabilidade e analisaram-se os resultados obtidos. Esses resultados, apresentados em pormenor na secção 5.6, indicaram que, na generalidade, os participantes consideraram a aplicação útil no processo de conceção em arquitetura.

Conclusões e Trabalho Futuro

Considerando as características enunciadas pelos participantes, então esta solução é benéfica para o processo de concepção em arquitetura, do ponto de vista de análise iterativa de conceitos e ideias e da compreensão do projeto. Conclui-se assim que a hipótese apresentada foi demonstrada, cumpridos todos os objetivos pretendidos nesta dissertação com bons resultados.

6.2 Trabalho Futuro

Apesar de todos os bons resultados apresentados na avaliação da usabilidade, foram sugeridas pelos participantes algumas melhorias, como, por exemplo, sinalização por meio de setas a mudança de modo e uma melhoria ao nível do *design* da aplicação. Estas sugestões poderiam ser desenvolvidas no futuro, de forma a utilizar as opiniões recolhida para melhorar o protótipo.

Alguns requisitos de prioridade mais baixa, que levantaram problemas no seu desenvolvimento e foram deixados para trás, poderiam ser retomados e resolvidos, se existisse mais tempo de desenvolvimento. Também algumas funcionalidades, como a aplicação de texturas alteração de cores ou ação envolvendo objetos intermédios, desenvolvidas no protótipo, não conseguiram ser mapeadas para a nova interface por necessitarem de menus mais complexos que não foram possíveis de serem desenvolvidos em tempo útil.

Outra possibilidade de trabalho futuro é a substituição do módulo de *tracking*, que utiliza o NUTTS, para um módulo onde o seguimento e alinhamento utilize informação 3D. Com este tipo de *tracking* seria possível substituir a marca utilizada no NUTTS pela própria maquete, unificando o uso de maquetes e o uso de modelos 3D num novo conceito para concepção em arquitetura. Este tipo de alinhamento seria possível utilizando a API KinectFusion que, com o Kinect, conseguia reconstruir a maquete em 3D e reconhecê-la na cena.

Referências

- [1] Wang, X., Kim, M. J., Love, P. E. D. e Kang, S.-C. Augmented Reality in built environment: Classification and implications for future research. *Automation in Construction*, 32(2013), 1-13.
- [2] Wang, X., Truijens, M., Hou, L., Wang, Y. e Zhou, Y. Integrating Augmented Reality with Building Information Modeling: Onsite construction process controlling for liquefied natural gas industry. *Automation in Construction*, 40(2014), 96-105.
- [3] Veliz, A., Kocaturk, T., Medjdoub, B. e Balbo, R. Dialogs between Physical and Digital Modelling Methods on Architectural Design. *Proceedings of the 30th eCAADe Conference*, Vol. 2(2012), 281-289.
- [4] Azuma, R. T. A survey of augmented reality. *Presence*, 6, 4 (1997), 355-385.
- [5] Linuxpilot. 2014. 在Android實現擴充實境的AndAR | Linux Pilot. Retirado em Março de 2014 de <http://www.linuxpilot.com/software/kiji/2011020701andar>
- [6] ARToolKit. 2014. ARToolKit Home Page. Retirado em Janeiro de 2014 de <http://www.hitl.washington.edu/artoolkit/>
- [7] Bastos, R. *FIRST, Invariant Image Features for Augmented Reality and Computer Vision*. PhD Dissertation, Instituto Superior de Ciências do Trabalho e da Empresa, Lisboa, 2008.
- [8] Zhou, F., Duh, H. B.-L. e Billinghurst, M. Trends in augmented reality tracking, interaction and display: A review of ten years of ISMAR. In *Proceedings of the 7th IEEE/ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality* (2008). IEEE Computer Society.

Referências

- [9] Lowe, D. G. Distinctive image features from scale-invariant keypoints. *International Journal of Computer Vision*, 60, 2 (2004), 91-110.
- [10] Gauglitz, S., Höllerer, T. e Turk, M. Evaluation of Interest Point Detectors and Feature Descriptors for Visual Tracking. *International Journal of Computer Vision*, 94, 3 (2011), 335-360.
- [11] Bay, H., Ess, A., Tuytelaars, T. e Van Gool, L. Speeded-up robust features (SURF). *Computer Vision and Image Understanding*, 110, 3 (2008), 346-359.
- [12] Bastos, R. *FIRST - Fast Invariant to Rotation and Scale Transform: Invariant Image Features for Augmented Reality and Computer Vision*. VDM Verlag, 2009.
- [13] Feiner, S., MacIntyre, B., Höllerer, T. e Webster, A. A touring machine: Prototyping 3D mobile augmented reality systems for exploring the urban environment. *Personal Technologies*, 1, 4 (1997), 208-217.
- [14] Höllerer, T., Feiner, S., Terauchi, T., Rashid, G. e Hallaway, D. Exploring MARS: developing indoor and outdoor user interfaces to a mobile augmented reality system. *Computers & Graphics*, 23, 6 (1999), 779-785.
- [15] Geiger, C., Kleinnjohann, B., Reimann, C. e Stichling, D. Mobile AR4ALL. In *Proceedings of the IEEE and ACM International Symposium on Augmented Reality* (2001). IEEE.
- [16] Kato, H. e Billinghurst, M. Marker tracking and hmd calibration for a video-based augmented reality conferencing system. In *Proceedings of the 2nd IEEE and ACM International Workshop on Augmented Reality (IWAR'99)* (1999). IEEE.
- [17] ARToolKit. 2014. ARToolKit Documentation (How does ARToolKit work?). Retirado em Janeiro de 2014 de <http://www.hitl.washington.edu/artoolkit/documentation/userarwork.htm>
- [18] Bastos, R. Automatic Camera Pose Initialization, using Scale, Rotation and Luminance Invariant Natural Feature Tracking. *JOURNAL OF WSCG*, 2008, 16, 1-3 (2008), 97-104.
- [19] Bouguet, J.-Y. Pyramidal implementation of the affine lucas kanade feature tracker description of the algorithm. *Intel Corporation*, 5(2001).
- [20] Bastos, R. e Dias, M. Efficient Texture Tracking using Optical Flow and Backprojection Information. In *Proceedings of the 15° EPCG* (Microsoft Portugal, Tagus Park, Porto Salvo, 15-17 Oct, 2007).
- [21] Vuforia. 2014. Platform - Vuforia. Retirado em Março de 2014 de <http://www.vuforia.com/platform>

Referências

- [22] Vuforia. 2014. Vuforia Developer Portal. Retirado em Março de 2014 de <http://developer.vuforia.com/resources/sample-apps/features>
- [23] Vuforia. 2014. Developing with Vuforia | Vuforia Developer Portal. Retirado em Março de 2014 de <http://developer.vuforia.com/resources/dev-guide/getting-started>
- [24] Vuforia. 2014. Smart Terrain | Vuforia Developer Portal. Retirado em Março de 2014 de <http://developer.vuforia.com/resources/dev-guide/smart-terrain>
- [25] Microsoft. 2014. Kinect for Windows | Voice, Movement & Gesture Recognition Technology. Retirado em Janeiro de 2014 de <http://www.microsoft.com/en-us/kinectforwindows/>
- [26] Izadi, S., Kim, D., Hilliges, O., Molyneaux, D., Newcombe, R., Kohli, P., Shotton, J., Hodges, S., Freeman, D. e Davison, A. KinectFusion: real-time 3D reconstruction and interaction using a moving depth camera. In *Proceedings of the 24th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology* (2011). ACM.
- [27] Broll, W., Lindt, I., Ohlenburg, J., Wittkämper, M., Yuan, C., Novotny, T., Mottram, C., Fatah gen Schieck, A. e Strothman, A. Arthur: A collaborative augmented environment for architectural design and urban planning. *Journal of Virtual Reality and Broadcasting*(2004), 1-10.
- [28] Wang, X., Gu, N. e Marchant, D. An empirical case study on designer's perceptions of augmented reality within an architectural firm. *Journal of Information Technology in Construction*, 13(2008), 536-551.
- [29] Belcher, D. e Johnson, B. R. An Augmented Reality Interface for Viewing 3D Building Information Models. *26th eCAADe Conference Proceedings*(2008), 561-568.
- [30] Bier, E. A., Stone, M. C., Pier, K., Buxton, W. e DeRose, T. D. Toolglass and magic lenses: the see-through interface. In *Proceedings of the 20th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques* (1993). ACM.
- [31] Looser, J., Billingham, M. e Cockburn, A. Through the looking glass: the use of lenses as an interface tool for Augmented Reality interfaces. In *Proceedings of the 2nd International Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques in Australasia and South East Asia* (2004). ACM.
- [32] Belcher, D. e Johnson, B. MxR: A Physical Model-Based Mixed Reality Interface for Design Collaboration, Simulation, Visualization and Form Generation. In *Proceedings of the 28th ACADIA Conference* (2008).
- [33] AR-media. 2014. AR-media™ - Product ARPlayer. Retirado em Março de 2014 de <http://www.armedia.it/arplayer>

Referências

- [34] AR-media. 2014. AR-media™ - Plataform. Retirado em de <http://www.amedia.it/platform.php>
- [35] AR-media. 2014. AR-media™ - Product ARPlugin for 3ds Max. Retirado em Março de 2014 de http://www.amedia.it/3dsmax_arplugin
- [36] Adetti-IUL. 2014. Adetti-IUL - Centro de Investigação em SI e TI Avançados. Retirado em Março de 2014 de <http://adetti-iul.adetti.pt/>
- [37] OpenSceneGraph. 2014. Features. Retirado em Março de 2014 de <http://www.openscenegraph.org/index.php/about/features>
- [38] OpenGL. 2014. OpenGL Overview. Retirado em Março de 2014 de <http://www.opengl.org/about/>
- [39] Wang, R. e Qian, X. *OpenSceneGraph 3.0: Beginner's guide*. Packt Publishing Ltd, 2010.
- [40] Boldischar, M. 2014. 5 Simple Steps to Creating Scene Graphs « Disgruntled Rats. Retirado em Maio de 2014 de <http://www.disgruntledrats.com/?p=266>
- [41] Microsoft. 2014. What Is a View Frustum? Retirado em Março de 2014 de <http://msdn.microsoft.com/en-us/library/ff634570.aspx>
- [42] OpenSceneGraph. 2014. OpenSceneGraph: osg::ClipNode Class Reference. Retirado em Março de 2014 de <http://trac.openscenegraph.org/documentation/OpenSceneGraphReferenceDocs/a00111.html>

Anexo A

Requisitos funcionais

A.1. Requisitos detalhados

A seguinte tabela apresenta informação detalhada dos requisitos funcionais do protótipo, em que cada entrada contém o título, a descrição e a prioridade no desenvolvimento de cada funcionalidade a ser implementada.

ID	Título	Descrição	Prioridade
F1	Criar um corte	Permite ao utilizador realizar um corte no modelo 3D	P1
F2	Alterar a posição do corte	Permite ao utilizador deslocar o plano de corte em relação à sua posição	P1
F3	Interface com rato e teclado	Criar uma interface provisória com utilização do rato e teclado que permite ao utilizador interagir com as funcionalidades desenvolvidas antes da fase de utilização do <i>tablet</i>	P1
F4	Visualizar o plano de corte	Permite ao utilizador visualizar a posição do plano de corte, através da sua coloração	P1
F5	Desligar/Ligar a visualização do plano	Permite ao utilizador ativar ou desativar a coloração do plano de corte	P1
F7	Salientar objetos cortados	Identifica os objetos em corte, dando ao utilizador uma maior perceção de secção dos objetos	P3
F8	Iniciar plano de corte nos limites do modelo	Coloca o plano de corte nos limites do modelo, dinamicamente, para iniciar o corte	P1

Requisitos funcionais

F9	Realçar grupo de objetos	Permite ao utilizador realçar um grupo principal de objetos, por vezes, oculto por outros objetos	P1
F10	Ocultar objeto	Permite ao utilizador ocultar um objeto do modelo, através da seleção deste com o rato/toque	P2
F11	Ocultar grupo de objetos	Permite ao utilizador ocultar um grupo principal de objetos	P1
F12	Selecionar objeto	Permite ao utilizador selecionar um objeto do modelo para o modificar, como, por exemplo, alterar a cor ou textura, através da seleção deste com o rato/toque	P2
F13	Selecionar objeto intermédio	Permite ao utilizador selecionar um objeto, através da travessia da hierarquia do modelo, para o modificar, como, por exemplo, alterar a cor ou textura	P2
F14	Selecionar grupo de objetos	Permite ao utilizador selecionar um grupo principal de objetos, para o modificar, como, por exemplo, alterar a cor ou textura	P1
F15	Modificar cor do objeto	Permite ao utilizador alterar a cor de um objeto previamente selecionado do modelo	P2
F16	Modificar textura do objeto	Permite ao utilizador alterar a textura de um objeto previamente selecionado do modelo	P2
F17	Adicionar animação	Adicionar animações, pré-elaboradas, como, por exemplo, movimento de pessoas ou carros na rua.	P3
F18	Controlar animações	Permite ao utilizador controlar as animações existentes no modelo, como, por exemplo, iniciar, pausar ou parar.	P2
F19	Reiniciar o modelo	Permite ao utilizador restaurar o modelo ao seu estado inicial, eliminando todas as alterações, como oclusões, cor e textura, aplicadas anteriormente.	P1
F20	Reiniciar o objeto	Permite ao utilizador restaurar o objeto previamente selecionado ao seu estado inicial, eliminando todas as alterações, como oclusões, cor e textura, aplicadas anteriormente.	P1
F21	Ocultar objeto intermédio	Permite ao utilizador ocultar um objeto, através da travessia da hierarquia do modelo	P4
F22	Ligar/desligar luzes	Permite ao utilizador optar por ter ligadas as luzes incluídas no modelo ou apenas uma luz predefinida	P4

Requisitos funcionais

F23	Carregar diferentes conjuntos de luzes	Permite ao utilizador disponibilizar diferentes conjuntos de luzes para o mesmo modelo, que sejam carregados no sistema e simulem diferentes alturas do ano ou do dia.	P4
F24	Alterar posição do corte na planta/alçado	Manter sincronizada a indicação da posição do corte sobre a planta/alçado em relação à sua posição real	P3
F25	Interface de corte	Criar uma interface que permita o utilizador seleccionar as funcionalidades de corte no <i>tablet</i>	P1
F26	Interface de seleção	Criar uma interface que permita o utilizador seleccionar as funcionalidades de interação com o modelo no <i>tablet</i>	P1
F27	Interface de apresentação	Criar uma interface que permita o utilizador seleccionar as funcionalidades de apresentação no <i>tablet</i>	P2

Tabela 8: Tabela de requisitos funcionais

Anexo B

Protótipo da Aplicação

B.1. Modelos da Interface

De seguida são apresentados os modelos criados para a especificação e planeamento da interface a ser desenvolvida



Figura 43: Modelo da interface de entrada da aplicação (menu fechado)

Protótipo da Aplicação

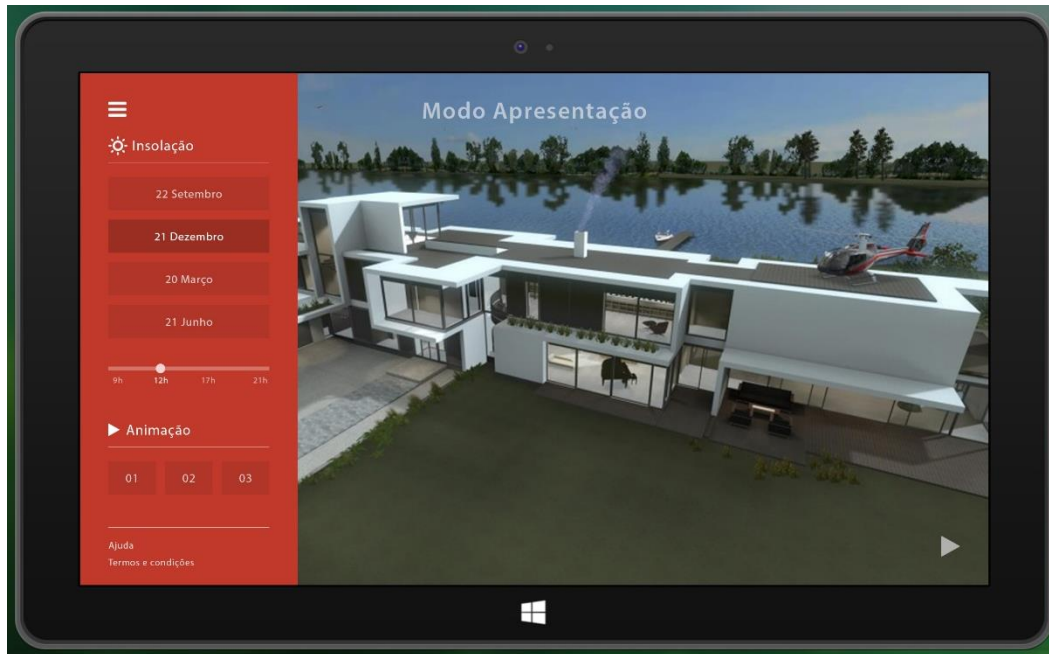


Figura 44: Modelo da interface no Modo de Apresentação

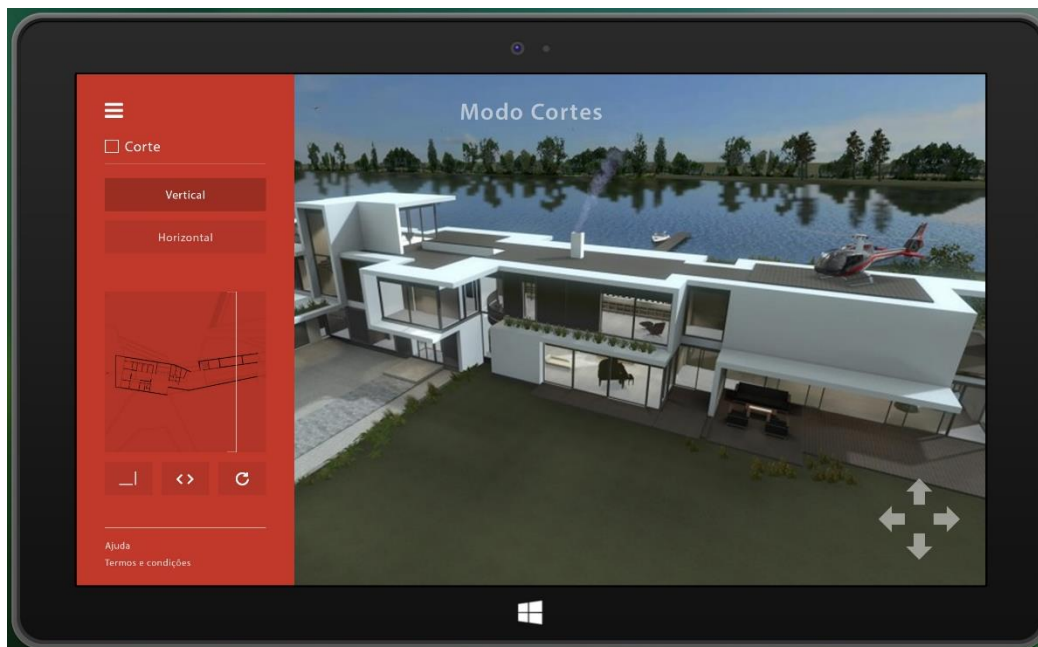


Figura 45: Modelo da interface no Modo de Cortes

Protótipo da Aplicação



Figura 46: Modelo da interface no Modo de Seleção

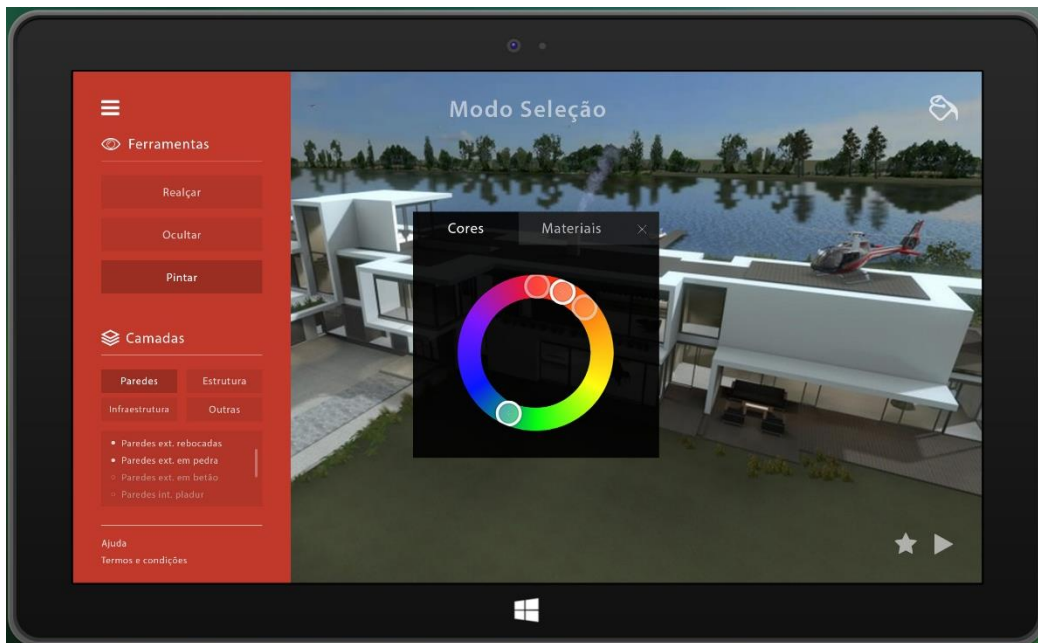


Figura 47: Modelo do menu de seleção de cor

Protótipo da Aplicação

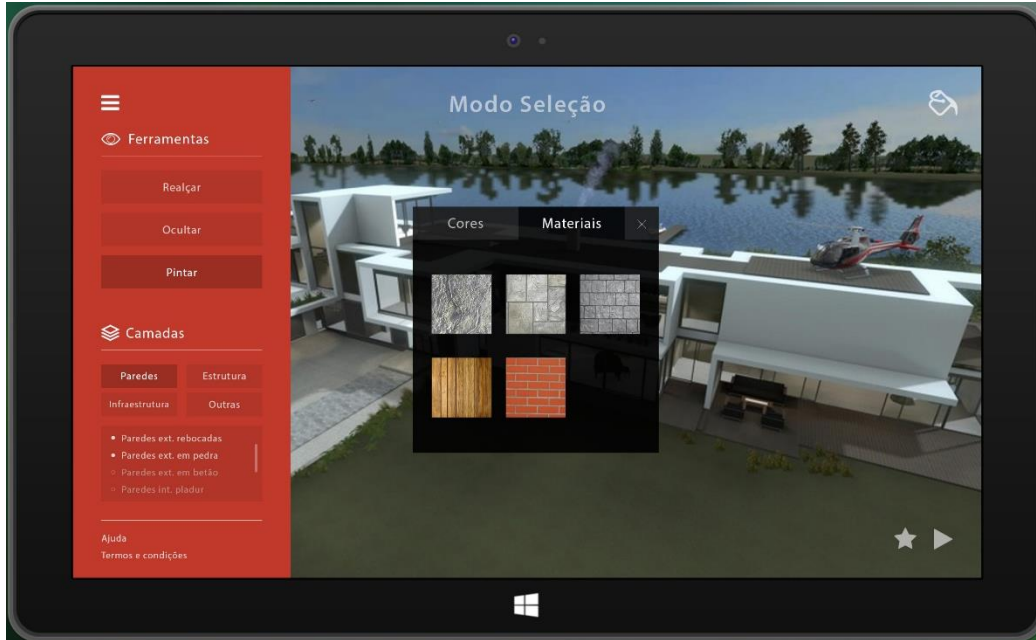


Figura 48: Modelo do menu de seleção de materiais

B.2. Capturas do Protótipo

Nesta seção são apresentadas as capturas efetuadas ao protótipo desenvolvido, mostrando a interface final e algumas das funcionalidades implementadas.

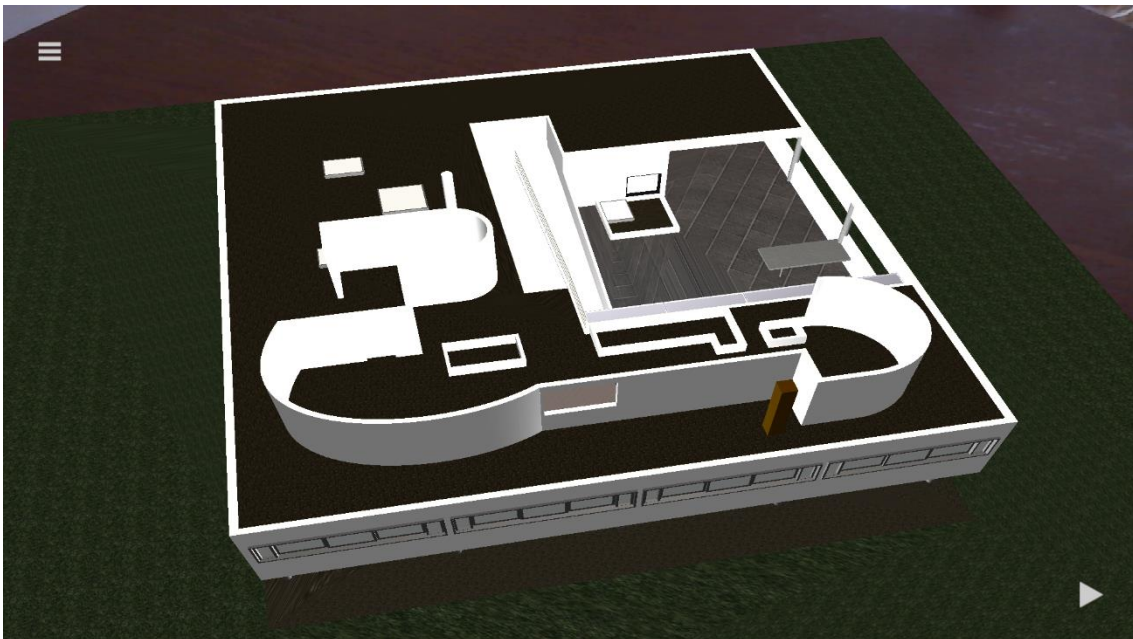


Figura 49: Ecrã inicial do protótipo

Protótipo da Aplicação

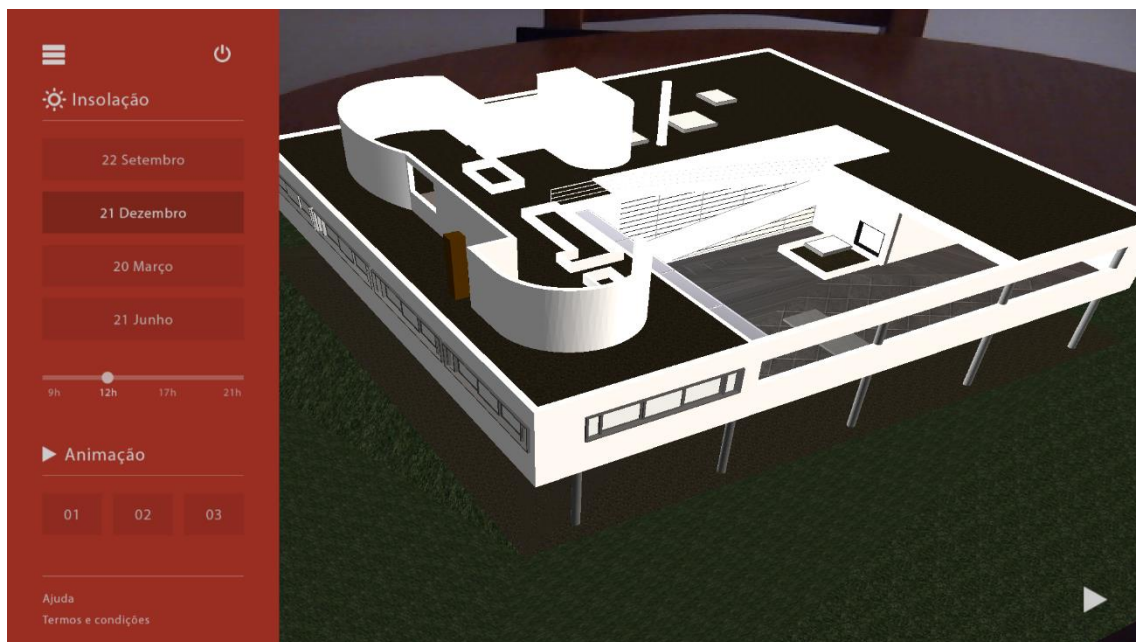


Figura 50: Modo de Apresentação



Figura 51: Modo de Seleção

Protótipo da Aplicação



Figura 52: Modo de Cortes

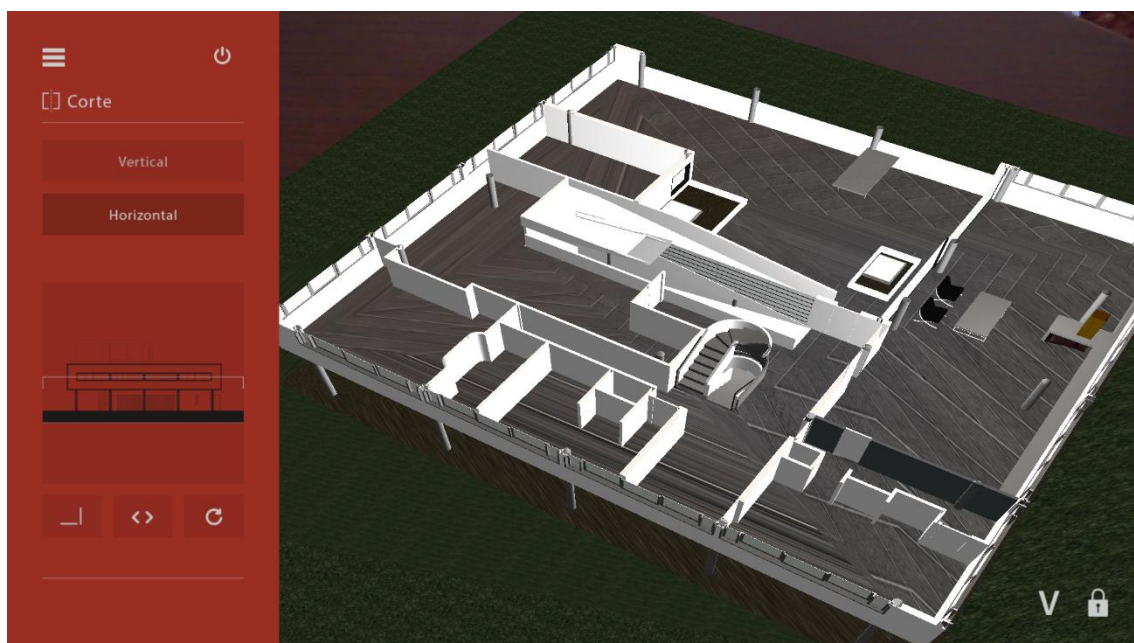


Figura 53: Realização de um corte horizontal no edifício

Protótipo da Aplicação

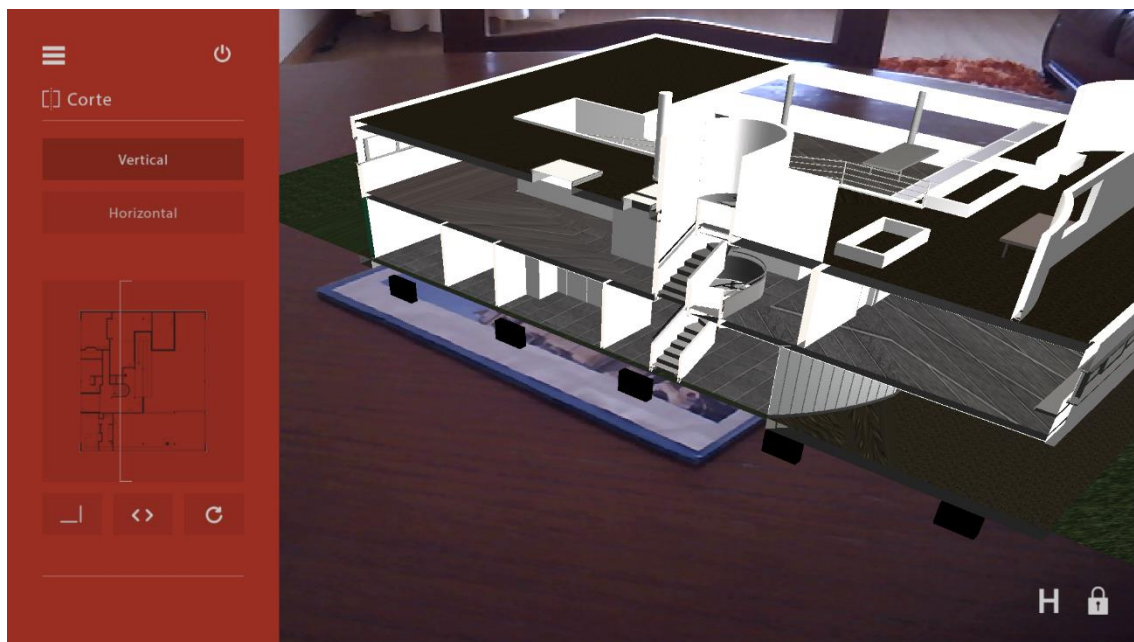


Figura 54: Realização de um corte vertical no edifício

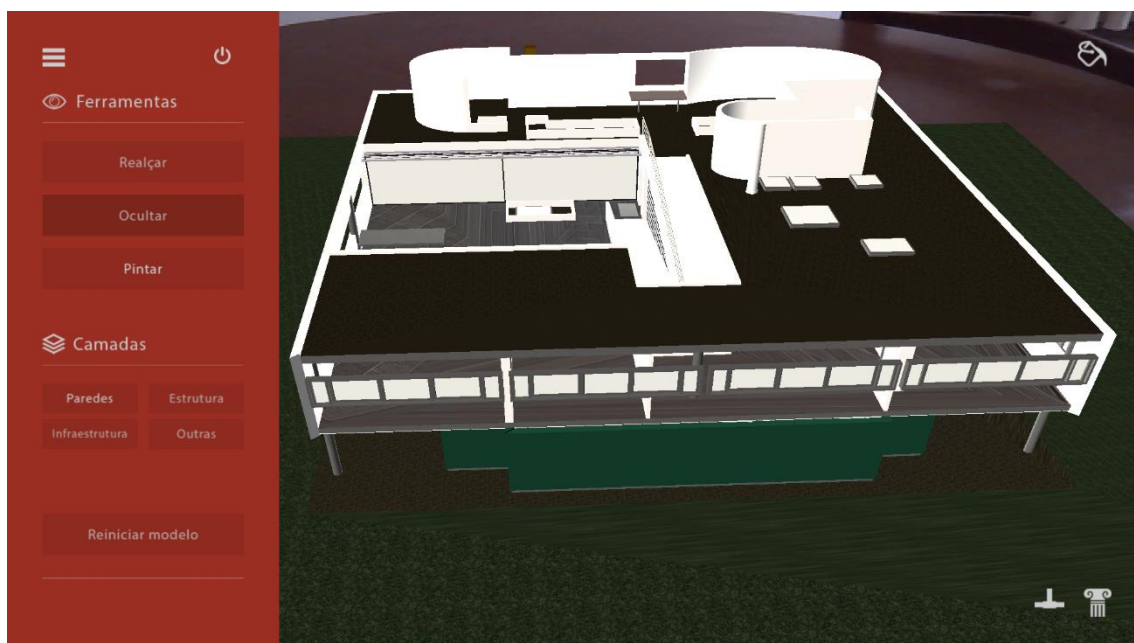


Figura 55: Oclusão de um objeto no modelo

Protótipo da Aplicação

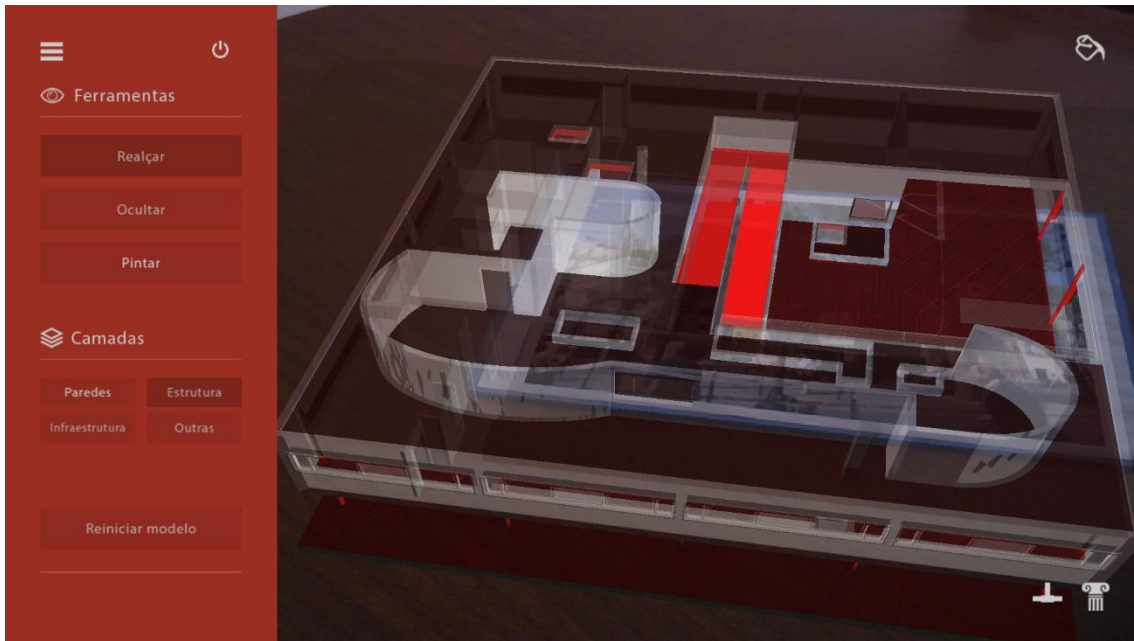


Figura 56: Realce da estrutura do edifício

Anexo C

Avaliação da Usabilidade

Este anexo contém todos os documentos elaborados para a realização da avaliação da usabilidade, ou seja, o termo de consentimento, o inquérito preliminar, a sessão de avaliação e os inquéritos finais. Também contém todos os dados recolhidos dos participantes, utilizados na análise da avaliação.

C.1. Termo de consentimento livre e informado (DOC.01/06)

Título da pesquisa: Avaliação da usabilidade na aplicação de realidade aumentada para Arquitetura

Observador Responsável: _____

Foi convidado(a) a participar, como voluntário(a), numa pesquisa, no âmbito de um projeto de investigação, a decorrer no ISCTE-IUL. A sua participação representa um importante contributo, não só para o projeto em curso, mas também para o desenvolvimento do conhecimento na área da realidade aumentada na arquitetura.

É importante que leia a informação seguinte, antes de concordar em participar nesta pesquisa. Este texto descreve, de forma sucinta, a pesquisa, os seus objetivos gerais e o que se espera da sua participação, incluindo a identificação dos procedimentos experimentais e a confidencialidade dos dados. Caso aceite fazer parte deste estudo, deverá assinar as duas vias deste documento, sendo que, uma delas ficará na sua posse e outra com o investigador responsável.

Explicação do procedimento

Este estudo tem por objetivo avaliar a usabilidade de uma aplicação de realidade aumentada desenvolvida para auxiliar os arquitetos no processo de concepção em arquitetura.

A sessão experimental está dividida em 3 partes: (1) Explicação dos objetivos e questionário pré-interação; (2) Sessão de interação com a aplicação e (3) Questionário pós-interação. O tempo total estimado para a sua participação é de, aproximadamente, 30 minutos.

Durante a sessão de interação será pedido que utilize a aplicação e verbalize as suas impressões e pensamentos acerca desta experiência de utilização. Um investigador vai estar sempre a observá-lo para tirar apontamentos sobre a sua interação com a aplicação.

Confidencialidade dos dados

Todos os dados recolhidos serão confidenciais, incluindo as suas respostas ao questionário que serão anónimas. Para isso, os participantes serão identificados apenas com um número que serve para o investigador ter registo da sequência pela qual a experiência decorreu. Não serão feitos registos de imagem via vídeo, mas podem ser feitas algumas fotografias para serem utilizadas a título ilustrativo, sem no entanto identificar o participante.

Consentimento

Ao assinar este documento está a declarar que tomou conhecimento das metodologias envolvidas neste estudo e que nada tem a opor, pelo que está disponível para participar.

Nome do Participante

Assinatura do Participante

Data

Assinatura do investigador

C.2. Inquérito preliminar – Estudantes (DOC. 02/06)

Participante	1. Idade	2. Sexo	3. Curso	4. Ano
2	23	Feminino	Mestrado Integrado em Arquitetura	5
3	24	Masculino	Mestrado Integrado em Arquitetura	5
4	26	Masculino	Mestrado Integrado em Arquitetura	4
5	24	Masculino	Mestrado Integrado em Arquitetura	4
8	22	Masculino	Mestrado Integrado em Arquitetura	5
9	20	Masculino	Mestrado Integrado em Arquitetura	4
12	21	Masculino	Mestrado Integrado em Arquitetura	4
13	51	Masculino	Mestrado Integrado em Arquitetura	4
14	23	Masculino	Mestrado Integrado em Arquitetura	4
15	22	Masculino	Mestrado Integrado em Arquitetura	5
16	25	Feminino	Mestrado Integrado em Arquitetura	5
17	24	Masculino	Mestrado Integrado em Arquitetura	5
18	22	Feminino	Mestrado Integrado em Arquitetura	4
19	22	Feminino	Mestrado Integrado em Arquitetura	3
20	21	Feminino	Mestrado Integrado em Arquitetura	2
21	24	Masculino	Mestrado Integrado em Arquitetura	3

5. Utiliza computador?

1. Sim
2. Não (se não, saltar para a questão 6)

Participante	Resposta
2	1
3	1
4	1
5	1

Avaliação da Usabilidade

8	1
9	1
12	1
13	1
14	1
15	1
16	1
17	1
18	1
19	1
20	1
21	1

5.1. Se sim, com que frequência?

1. Menos que 1 vez por mês
2. Pelo menos 1 vez por mês
3. Todas as semanas
4. Todos os dias

Participante	Resposta
2	4
3	4
4	4
5	4
8	4
9	4
12	4
13	4
14	4
15	4

Avaliação da Usabilidade

16	4
17	4
18	4
19	4
20	4
21	4

6. Utiliza dispositivos móveis táteis (assinale as que se aplicam)?

1. *Tablet*
2. *Smartphone*
3. Outro (Qual?)
4. Não (se não, saltar para a questão 7)

Participante	Resposta
2	1, 2
3	2
4	2
5	1, 2
8	1, 2
9	1, 2
12	2
13	3, Telemóvel
14	1, 2
15	-
16	2
17	1, 2
18	2
19	2
20	4
21	1, 2

6.1. Se sim, com que frequência?

1. Menos que 1 vez por mês
2. Pelo menos 1 vez por mês
3. Todas as semanas
4. Todos os dias

Participante	Resposta
2	4
3	4
4	4
5	4
8	4
9	3
12	4
13	4
14	4
15	-
16	4
17	4
18	4
19	4
20	N/A
21	4

7. Como avalia a sua relação com as TIC (Tecnologias de informação e comunicação)?

1. Muito Má
2. Má
3. Insuficiente
4. Razoável
5. Boa
6. Muito boa

Avaliação da Usabilidade

Participante	Resposta
2	5
3	4
4	5
5	5
8	5
9	5
12	5
13	5
14	6
15	4
16	5
17	4
18	2
19	4
20	4
21	5

8. Neste momento sinto-me... (assinale as que se aplicam)

1. Motivado(a) para interagir com as tecnologias que me serão apresentadas
2. Apreensivo(a)
3. Outro (por favor especifique)

Participante	Resposta
2	1
3	2
4	1
5	1
8	1
9	1

12	1
13	1
14	1
15	2
16	1
17	2
18	1
19	1
20	1
21	1

C.3. Inquérito preliminar – Peritos

Participante	1. Idade	2. Sexo	3. Nível de escolaridade	4. Atividades profissionais	5. Anos de atividade
1	40	Feminino	Doutoramento	Docente	13
7	53	Feminino	Doutoramento	Docente/Colaborador	30
10	-	Feminino	Doutoramento	Docente	14
11	43	Feminino	Doutoramento	Docente/Possui <i>atelier</i>	22

6. Utiliza computador?

1. Sim
2. Não (se não, saltar para a questão 6)

Participante	Resposta
1	1
7	1
10	1
11	1

6.1. Se sim, com que frequência?

1. Menos que 1 vez por mês

Avaliação da Usabilidade

2. Pelo menos 1 vez por mês
3. Todas as semanas
4. Todos os dias

Participante	Resposta
1	4
7	4
10	4
11	4

7. Utiliza dispositivos móveis táteis (assinale as que se aplicam)?

1. *Tablet*
2. *Smartphone*
3. Outro (Qual?)
4. Não (se não, saltar para a questão 7)

Participante	Resposta
1	1, 2
7	4
10	1
11	1, 2

7.1. Se sim, com que frequência?

1. Menos que 1 vez por mês
2. Pelo menos 1 vez por mês
3. Todas as semanas
4. Todos os dias

Participante	Resposta
1	4
7	N/A
10	4
11	4

8. Como avalia a sua relação com as TIC (Tecnologias de informação e comunicação)?

1. Muito Má
2. Má
3. Insuficiente
4. Razoável
5. Boa
6. Muito boa

Participante	Resposta
1	6
7	2
10	4
11	5

9. No contexto da sua atividade profissional, com que frequência utiliza TIC (computador, *smartphone*, *tablet*, etc):

1. Nunca
2. Menos que 1 vez por mês
3. Pelo menos 1 vez por mês
4. Todas as semanas
5. Todos os dias

Participante	Resposta
1	5
7	5
10	5
11	5

10. Neste momento sinto-me... (assinale as que se aplicam)

1. Motivado(a) para interagir com as tecnologias que me serão apresentadas
2. Apreensivo(a)
3. Outro (por favor especifique)

Avaliação da Usabilidade

Participante	Resposta
1	1
7	2
10	1
11	1

C.4. Sessão de avaliação (DOC. 04/06)

1. Tempo de execução das tarefas:

Participante	Início	Fim	Tempo
1	10:45	10:50	00:05
2	11:10	11:13	00:03
3	11:18	11:20	00:02
4	11:30	11:33	00:03
5	11:40	11:43	00:03
7	12:21	12:25	00:04
8	12:44	12:52	00:08
9	13:06	13:08	00:02
10	13:27	13:30	00:03
11	13:31	13:38	00:07
12	13:40	13:45	00:05
13	13:46	13:51	00:05
14	14:09	14:12	00:03
15	14:14	14:17	00:03
16	14:35	14:37	00:02
17	14:40	14:44	00:04
18	14:57	15:02	00:05
19	15:20	15:23	00:03
20	15:31	15:35	00:04

Avaliação da Usabilidade

21	15:37	15:40	00:03
----	-------	-------	-------

2. Tarefas:

Tarefa	Sub-tarefa
Inicialização	<ol style="list-style-type: none"> 1. Dirigir câmara para a marca 2. Visualizar/Explorar o modelo 3D
Realizar corte	<ol style="list-style-type: none"> 3. Mudar para Modo de Cortes 4. Alterar posição do corte
Ocultar	<ol style="list-style-type: none"> 5. Mudar para Modo de Seleção 6. Abrir o menu 7. Seleccionar a opção ocultar 8. Seleccionar um objeto
Realçar	<ol style="list-style-type: none"> 9. Realçar um grupo

1.1. Dirigir câmara para a marca

1. Cumpriu com facilidade
2. Cumpriu
3. Cumpriu com dificuldade
4. Não cumpriu

Participante	Resultado	Nº de pedidos de ajuda
1	1	0
2	3	1
3	1	0
4	1	0
5	1	0
7	1	0
8	1	0
9	1	0
10	1	0
11	1	0

Avaliação da Usabilidade

12	1	0
13	1	0
14	1	0
15	1	0
16	1	0
17	1	0
18	1	0
19	1	0
20	1	0
21	1	0

1.2. Visualizar/Explorar o modelo 3D

1. Cumpriu com facilidade
2. Cumpriu
3. Cumpriu com dificuldade
4. Não cumpriu

Participante	Resultado	Nº de pedidos de ajuda
1	1	0
2	2	0
3	1	0
4	1	0
5	1	0
7	1	0
8	1	0
9	1	0
10	1	0
11	1	0
12	1	0
13	1	0

Avaliação da Usabilidade

14	1	0
15	1	0
16	1	0
17	1	0
18	1	0
19	1	0
20	1	0
21	1	0

1.3.Mudar para Modo de Cortes

1. Cumpriu com facilidade
2. Cumpriu
3. Cumpriu com dificuldade
4. Não cumpriu

Participante	Resultado	Nº de pedidos de ajuda
1	3	0
2	2	0
3	3	1
4	3	1
5	1	0
7	3	1
8	1	0
9	1	0
10	1	0
11	1	0
12	1	0
13	2	1
14	1	0
15	1	0

Avaliação da Usabilidade

16	1	0
17	1	0
18	1	0
19	1	0
20	1	0
21	1	0

1.4. Alterar a posição do corte

1. Cumpriu com facilidade
2. Cumpriu
3. Cumpriu com dificuldade
4. Não cumpriu

Participante	Resultado	Nº de pedidos de ajuda
1	1	0
2	2	1
3	1	0
4	3	1
5	1	0
7	3	1
8	1	0
9	1	0
10	2	1
11	3	2
12	1	0
13	2	0
14	1	0
15	3	1
16	1	0
17	1	0

Avaliação da Usabilidade

18	2	1
19	1	0
20	2	0
21	1	0

1.5. Mudar para Modo de Seleção

1. Cumpriu com facilidade
2. Cumpriu
3. Cumpriu com dificuldade
4. Não cumpriu

Participante	Resultado	Nº de pedidos de ajuda
1	1	0
2	2	0
3	1	0
4	1	0
5	1	0
7	1	0
8	1	0
9	1	0
10	1	0
11	2	1
12	1	0
13	2	1
14	1	0
15	1	0
16	1	0
17	1	0
18	1	0
19	1	0

Avaliação da Usabilidade

20	1	0
21	1	0

1.6. Abrir o menu

1. Cumpriu com facilidade
2. Cumpriu
3. Cumpriu com dificuldade
4. Não cumpriu

Participante	Resultado	Nº de pedidos de ajuda
1	1	0
2	2	0
3	1	0
4	2	0
5	1	0
7	1	0
8	1	0
9	1	0
10	1	0
11	1	0
12	1	0
13	1	0
14	1	0
15	1	0
16	1	0
17	1	0
18	1	0
19	1	0
20	1	0
21	1	0

1.7. Selecionar a opção de ocultar

1. Cumpriu com facilidade
2. Cumpriu
3. Cumpriu com dificuldade
4. Não cumpriu

Participante	Resultado	Nº de pedidos de ajuda
1	1	0
2	1	0
3	1	0
4	1	0
5	1	0
7	1	0
8	1	0
9	1	0
10	1	0
11	1	0
12	1	0
13	1	0
14	1	0
15	1	0
16	1	0
17	1	0
18	1	0
19	1	0
20	1	0
21	1	0

1.8. Selecionar um objeto

1. Cumpriu com facilidade
2. Cumpriu

Avaliação da Usabilidade

3. Cumpriu com dificuldade
4. Não cumpriu

Participante	Resultado	Nº de pedidos de ajuda
1	1	0
2	3	0
3	1	0
4	2	0
5	1	0
7	3	1
8	1	0
9	1	0
10	1	0
11	1	0
12	1	0
13	1	0
14	1	0
15	1	0
16	1	0
17	1	0
18	1	0
19	1	0
20	1	0
21	1	0

1.9. Realçar um grupo

1. Cumpriu com facilidade
2. Cumpriu
3. Cumpriu com dificuldade
4. Não cumpriu

Avaliação da Usabilidade

Participante	Resultado	Nº de pedidos de ajuda
1	1	0
2	1	0
3	1	0
4	1	0
5	1	0
7	1	0
8	1	0
9	1	0
10	1	0
11	1	0
12	1	0
13	1	0
14	1	0
15	1	0
16	1	0
17	1	0
18	1	0
19	1	0
20	1	0
21	1	0

2. Como estava o participante no final da sessão?

1. Satisfeita
2. Surpresa
3. Sem reação
4. Confusa
5. Irritada
6. Desapontada

Avaliação da Usabilidade

Participante	Resultado
1	1
2	2
3	1
4	1
5	1
7	3
8	1
9	3
10	1
11	1
12	1
13	1
14	1
15	1
16	1
17	1
18	3
19	1
20	3
21	1

3. Verbalizações e observações

Participante	Verbalizações	Observações
1	O participante sugeriu que o protótipo deveria ter setas para mudar de modo (para assinalar como mudar de modo). Referiu também que os cortes são fáceis de visualizar no protótipo.	O participante chegou aos objetivos cumpridos com alguma facilidade.
2	O participante referiu que o protótipo é	O participante teve uma reação

Avaliação da Usabilidade

	fácil mas a realidade aumentada não é tao rápida.	surpresa à tecnologia de realidade aumentada. Mostrou alguma desorientação no seguimento da marca.
3	O participante referiu que o protótipo é interessante.	O participante mostrou curiosidade em continuar a explorar o protótipo.
4	O participante referiu que o protótipo é útil, fácil e acessível.	O participante mostrou alguma dificuldade no cumprimentos das tarefas, mas com algumas ajudas conseguir completar toda a sessão.
5	O participante referiu que o protótipo é interessante, útil e fácil de perceber.	O participante não teve dificuldades na execução das tarefas.
7	O participante referiu que a sensibilidade ao toque da seleção de objetos deveria ser melhorada. O participante sugeriu um suporte para <i>tablet</i> para melhorar a seleção, devido ao seu peso.	O participante mostrou alguma dificuldade no cumprimentos das tarefas, mas com algumas ajudas conseguir completar toda a sessão.
8	O participante não expressou qualquer opinião sobre o protótipo.	O participante não teve dificuldades na execução das tarefas.
9	O participante não expressou qualquer opinião sobre o protótipo.	O participante cumpriu o teste exemplarmente, mas não mostrou qualquer reação.
10	O participante não expressou qualquer opinião sobre o protótipo.	O participante apenas necessitou de uma pequena ajuda, realizando as restantes tarefas sem dificuldade.
11	O participante referiu que o protótipo ainda é uma versão inicial, mas é interessante.	O participante mostrou alguma dificuldade no cumprimentos das tarefas, mas com algumas ajudas conseguir completar toda a sessão.
12	O participante referiu que o protótipo proporciona mais possibilidades de interação.	O participante não teve dificuldades na execução das tarefas.
13	O participante referiu que poder-se-ia utilizar a <i>Section box</i> em <i>Revit</i> nos	O participante mostrou alguma dificuldade no cumprimentos das

Avaliação da Usabilidade

	cortes.	tarefas, mas com algumas ajudas conseguir completar toda a sessão.
14	O participante não expressou qualquer opinião sobre o protótipo.	O participante não teve dificuldades na execução das tarefas.
15	O participante referiu que a realidade aumentada deveria melhorar.	O participante apenas necessitou de uma pequena ajuda, realizando as restantes tarefas sem dificuldade.
16	O participante referiu que o protótipo é interessante e útil, mas deveria ter as opções mais importantes realçadas.	O participante não teve dificuldades na execução das tarefas.
17	O participante referiu que o protótipo é interessante, não substitui a maquete.	O participante não teve dificuldades na execução das tarefas.
18	O participante referiu que o protótipo não é estável e a funcionalidade do cadeado não é intuitiva.	O participante apenas necessitou de uma pequena ajuda, realizando as restantes tarefas sem dificuldade Este não mostrou qualquer reação à sessão.
19	O participante referiu que o protótipo pode ter utilidade na conceção de projeto e, especialmente, para conseguirem testar os seus modelos. O participante considera que este possa ser incluído nas matérias do curso e que ainda pode ser bastante melhorado.	O participante não teve dificuldades na execução das tarefas.
20	O participante referiu que o protótipo não substitui a maquete	O participante não teve dificuldades na execução das tarefas.
21	O participante referiu que o protótipo é muito bom, com muita utilidade para apresentação ou discussão. O participante considera que é vantajoso usar um <i>tablet</i> , que é mais intuitivo, mas falta ainda <i>feedback</i> nos botões.	O participante não teve dificuldades na execução das tarefas e mostrou-se interessado com o protótipo.

C.5. Inquérito de satisfação (DOC. 05/06)

Quanto à solução/produto testado:

Avaliação da Usabilidade

1. Esta solução facilita a visualização e interação com modelos 3D em arquitetura.

1. Discordo totalmente
2. Discordo
3. Indiferente
4. Concordo
5. Concordo Totalmente
6. Não se aplica

Participante	Resposta
1	5
2	4
3	4
4	5
5	4
7	3
8	5
9	5
10	4
11	4
12	5
13	5
14	5
15	4
16	5
17	4
18	4
19	5
20	4
21	5

Avaliação da Usabilidade

2. Esta solução promove o teste de novas ideias na fase de conceção.

1. Discordo totalmente
2. Discordo
3. Indiferente
4. Concordo
5. Concordo Totalmente
6. Não se aplica

Participante	Resposta
1	4
2	5
3	3
4	4
5	4
7	4
8	4
9	4
10	4
11	3
12	5
13	5
14	4
15	4
16	5
17	2
18	4
19	4
20	5
21	5

Avaliação da Utilidade da aplicação no processo de conceção em arquitetura

3. A utilização da aplicação acrescenta informação ao processo de conceção.

1. Discordo totalmente
2. Discordo
3. Indiferente
4. Concordo
5. Concordo Totalmente
6. Não se aplica

Participante	Resposta
1	5
2	3
3	3
4	4
5	4
7	4
8	4
9	4
10	2
11	4
12	4
13	4
14	4
15	4
16	5
17	4
18	4
19	4
20	4
21	4

4. A utilização da aplicação dá-me uma maior controlo sobre o projeto

1. Discordo totalmente
2. Discordo
3. Indiferente
4. Concordo
5. Concordo Totalmente
6. Não se aplica

Participante	Resposta
1	5
2	3
3	3
4	4
5	5
7	3
8	4
9	4
10	4
11	3
12	4
13	4
14	3
15	5
16	5
17	3
18	4
19	3
20	3
21	3

5. A utilização da aplicação torna mais compreensível o projeto durante o processo de concepção

1. Discordo totalmente
2. Discordo
3. Indiferente
4. Concordo
5. Concordo Totalmente
6. Não se aplica

Participante	Resposta
1	4
2	5
3	3
4	4
5	4
7	3
8	5
9	4
10	4
11	4
12	5
13	4
14	4
15	5
16	5
17	3
18	4
19	4
20	4
21	4

Avaliação da Usabilidade

6. Na generalidade, considero útil a aplicação no processo de conceção em arquitetura

1. Discordo totalmente
2. Discordo
3. Indiferente
4. Concordo
5. Concordo Totalmente
6. Não se aplica

Participante	Resposta
1	5
2	3
3	3
4	5
5	5
7	3
8	5
9	4
10	4
11	3
12	4
13	4
14	5
15	4
16	5
17	4
18	4
19	4
20	4
21	4

Quanto à percepção dos principais benefícios da aplicação

7. Sinto-me disposto a aprender a utilizar estas tecnologias /dispositivos?

1. Discordo totalmente
2. Discordo
3. Indiferente
4. Concordo
5. Concordo Totalmente
6. Não se aplica

Participante	Resposta
1	5
2	5
3	4
4	4
5	5
7	4
8	5
9	5
10	4
11	4
12	5
13	5
14	5
15	3
16	5
17	3
18	2
19	5
20	-
21	5

8. Qual o grau de confiança que deposita nesta tecnologia?

1. Nenhum
2. Baixo
3. Médio baixo
4. Médio alto
5. Elevado
6. Total

Participante	Resposta
1	5
2	4
3	4
4	4
5	4
7	4
8	4
9	4
10	4
11	3
12	4
13	5
14	5
15	3
16	4
17	3
18	2
19	4
20	-
21	4

9. Identifique as 3 principais características que MAIS e MENOS valorizou na aplicação experimentalada:

- a. Design
- b. A facilidade de utilização
- c. O facilitar a visualização de novas ideias
- d. O seu uso ser intuitivo
- e. A interatividade
- f. Ser divertido
- g. O facilitar a demonstração projetos
- h. Nenhuma das anteriores

Participante	Mais valor			Menos valor		
	Opção 1	Opção 2	Opção 3	Opção 1	Opção 2	Opção 3
1	b	e	g	c	f	h
2	a	c	e	b	g	h
3	b	d	e	a	c	g
4	b	c	g	a	d	f
5	b	c	g	a	d	f
7	b	d	g	a	c	e
8	b	c	g	a	e	f
9	c	e	g	a	b	d
10	b	f	g	a	h	-
11	b	f	g	a	-	-
12	b	c	e	a	f	h
13	b	d	g	a	c	f
14	e	f	g	b	c	-
15	c	e	g	a	d	f
16	c	e	g	a	b	d
17	a	c	g	b	d	f
18	b	d	g	a	e	f
19	b	d	g	a	c	e
20	-	-	-	-	-	-
21	b	e	g	a	d	f

C.6. Escala de Usabilidade (DOC. 06/06)

Como classificaria a aplicação quanto:

Avaliação da Usabilidade

10. À facilidade de utilização
11. Ao grau de satisfação com a sua utilização
12. À facilidade de aprendizagem
13. À obtenção dos resultados esperados (como por exemplo, queria fazer um corte e consegui)
14. À semelhança da forma de funcionamento nas diferentes tarefas (como por exemplo aceder a diferentes opções)
15. À possibilidade de interagir pelo toque
16. Ao entendimento dos textos apresentados
17. Ao tamanho dos botões apresentados
18. Às respostas da aplicação às suas ações
19. Ao saber o que estava a acontecer na aplicação durante a sua utilização
20. Grau de satisfação global com a aplicação

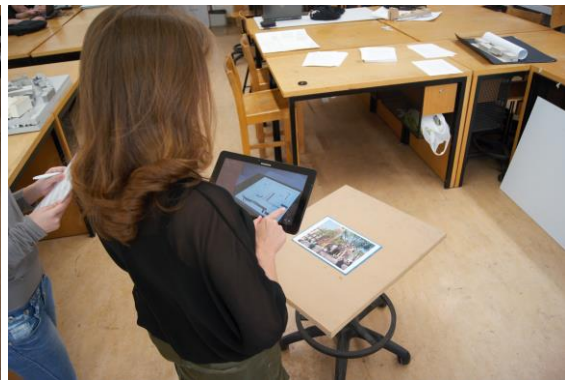
1. Muito Má
2. Má
3. Insuficiente
4. Razoável
5. Boa
6. Muito Boa

Partic.	R. 1	R. 2	R. 3	R. 4	R. 5	R. 6	R. 7	R. 8	R. 9	R. 10	R. 11
1	6	5	5	6	5	6	6	6	4	5	6
2	4	5	6	5	5	4	6	6	5	5	5
3	4	5	5	5	6	5	6	6	-	5	5
4	5	5	6	6	5	5	5	5	5	6	6
5	6	6	6	6	5	6	5	6	5	5	6
7	4	4	5	4	4	3	5	5	5	4	5
8	6	5	6	6	5	6	6	6	4	6	5
9	5	5	6	6	6	6	4	6	5	5	5
10	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
11	5	4	5	5	5	4	5	5	4	5	5
12	5	5	4	5	6	5	4	4	5	5	5
13	6	5	5	5	5	4	5	5	5	5	5

Avaliação da Usabilidade

14	5	4	6	6	6	5	5	5	5	5	5
15	3	4	5	5	4	5	4	5	4	3	5
16	4	5	3	5	3	5	3	5	4	5	5
17	5	4	5	5	5	5	5	6	5	5	5
18	4	3	4	4	4	5	5	5	4	5	5
19	5	4	4	5	5	4	5	5	5	5	6
20	6	5	6	6	5	5	5	6	6	6	6
21	5	5	6	5	5	5	6	6	3	4	5

C.7. Extrato da recolha fotográfica da avaliação



Avaliação da Usabilidade



Avaliação da Usabilidade

