



Uso de Realidade Aumentada aplicada ao Património: o século XX na Sé do Porto

RAFAEL ARMANDO TORRES PEREIRA

Outubro de 2017

Uso de Realidade Aumentada aplicada ao Património: o século XX na Sé do Porto

Rafael Armando Torres Pereira

**Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Informática, Área de Especialização em
Sistemas Gráficos e Multimédia**

Orientador: Prof. Doutor António Vieira de Castro

Coorientador: Prof. Doutor João Paulo Pereira

Supervisor externo: Prof. Doutora Maria Leonor Botelho

Júri:

Presidente:

[Nome do Presidente, Categoria, Escola]

Vogais:

[Nome do Vogal1, Categoria, Escola]

[Nome do Vogal2, Categoria, Escola] (até 4 vogais)

Porto, outubro de 2017

Aos meus pais por tudo o que me proporcionaram ao longo da vida

Resumo

A massificação do uso de dispositivos móveis é um fator que marca a sociedade atual (Bellini et al., 2016). A par da crescente utilização dos referidos dispositivos eletrónicos foi e é possível observar um crescimento exponencial do turismo em Portugal (Turismo de Portugal, 2017), nomeadamente na cidade do Porto.

No projeto aqui revelado, desenvolveu-se e implementou-se uma aplicação móvel com recurso a RA para visualizar as alterações ocorridas na Sé do Porto (monumento selecionado para a implementação do projeto) durante a primeira metade do século XX.

A Sé do Porto está inserida no Centro Histórico do Porto, que é Património Mundial da UNESCO desde 1996 (UNESCO, 1996), fazendo parte da Rota das Catedrais (Rota das Catedrais, 2009) e sendo classificada como Monumento Nacional desde 1910. Trata-se, portanto, de um dos monumentos com maior volume turístico na cidade.

Numa primeira visita ao local, foi iniciado um estudo do potencial do uso da Realidade Aumentada (RA), sendo estudadas algumas partes do monumento onde esta poderia ser aplicada. Para o presente estudo, definiu-se um roteiro de visita dentro da Sé e criaram-se modelos de apoio em 3D, de acordo com as recomendações da carta de Londres e Princípios de Sevilha – documentos que regulamentam a virtualização do património arquitetónico.

A aplicação foi desenvolvida recorrendo ao Unity 3D e C# utilizando o SDK Vuforia como motor de RA. Os modelos 3D foram implementados com o Blender 3D.

O protótipo foi testado e avaliado no local, tendo sido proporcionada aos participantes do estudo a descarga da aplicação ou a cedência de um dispositivo móvel com a aplicação pré-instalada. A todos os participantes foi distribuído um guião de visita. No final, foi realizada uma recolha de dados da aplicação, com base na experiência dos participantes. As respostas obtidas foram analisadas e retiraram-se conclusões que são apresentadas no final do documento.

A aplicação desenvolvida revela uma grande mais-valia na área da pedagogia, permitindo um fácil e atrativo acesso ao conhecimento, através da visualização de reconstituições e da reconstrução digital de edifícios que já não existem atualmente – neste projeto foi possível ter uma melhor perceção das alterações arquitetónicas ocorridas da na Sé do Porto na primeira metade do século XX. É, também, de salientar a potencial utilização no âmbito do turismo interativo (suportado, na sua maioria, por RA).

Palavras-chave: Realidade Aumentada, RA, Sé do Porto, Turismo, *Digital Heritage*

Abstract

The massification of the use of mobile devices is a factor that marks the current society (Bellini et al., 2016). Along with the increasing use of these electronic devices, it was possible to observe an exponential growth of tourism in Portugal (Turismo de Portugal, 2017), namely in the city of Oporto.

In the project unveiled here, a mobile application was developed and implemented with the use of AR to visualize the changes that occurred in the Oporto Cathedral (monument selected for the implementation of the project) during the first half of the 20th century.

The Oporto Cathedral is part of the Historic Center of Oporto, which is a UNESCO World Heritage Site since 1996 (UNESCO, 1996). It's part of the Cathedrals Route (Route of the Cathedrals, 2009) and has been classified as a National Monument since 1910 thus becoming one of the most touristic monuments in the city.

In a first visit to the site, a study of the potential of the use of Augmented Reality (AR) was started, and some parts of the monument where it could be applied were studied. For the present study, a tour itinerary was defined within the cathedral and support models were created in 3D, according to the recommendations of the London Charter and the Seville Principles - documents that regulate the virtualization of the architectural heritage.

The application was developed using Unity 3D and C # using the Vuforia SDK as the AR engine. 3D models were implemented with Blender 3D.

The prototype was tested and evaluated on-site, and study participants were provided with either the application download or the provision of a mobile device with the pre-installed application. All participants were given a tour guide. In the end, data were gathered based on participants experience. The responses were analyzed, and conclusions drawn at the end of this document.

The application reveals great value in pedagogy, allowing an easy and attractive access to knowledge, through the visualization of reconstitutions and the digital reconstruction of buildings that no longer exist today - in this project was possible to have a better perception of the architectural changes that took place in the Oporto Cathedral in the first half of the 20th century. It is also worth highlighting the potential use in interactive tourism (supported, for the most part, by AR).

Keywords: Augmented Reality, AR, Oporto Cathedral, Tourism, *Digital Heritage*

Agradecimentos

Ao meu orientador, Prof. Doutor António Vieira de Castro, docente do ISEP (Instituto Superior de Engenharia do Porto), investigador no GILT (*Games Interaction and Learning Technologies*) e diretor do LAMU (Laboratório Multimédia) por toda a sua dedicação, apoio e incentivo ao longo do presente estudo.

Ao meu coorientador, Prof. Doutor João Paulo Pereira, docente do ISEP (Instituto Superior de Engenharia do Porto), pela disponibilidade demonstrada e pelo encorajamento e apoio permanentes.

À minha supervisora, Prof. Doutora Maria Leonor Botelho, docente da FLUP (Faculdade de Letras de Universidade do Porto), investigadora do CITCEM/FLUP e colaboradora do IEM – Instituto de Estudos Medievais, por todo o conhecimento transmitido e pelo entusiasmo que revelou desde o primeiro momento.

Agradeço sinceramente todas as vossas orientações, apoio e sugestões que se revelaram muito úteis e foram uma fonte de encorajamento.

Ao LAMU (Laboratório Multimédia do Departamento de Engenharia Informática do ISEP) pelo apoio ao desenvolvimento do presente estudo.

À minha família, pelos incentivos e apoio constantes.

Aos colegas e amigos pelo companheirismo e apoio em todos os momentos desta etapa, pela vossa amizade sempre numa conjuntura de fraternidade.

A todos os professores que fizeram parte do meu percurso académico, por tudo o que me transmitiram ao longo da minha formação académica.

Índice

1	Introdução	1
1.1	Contextualização	1
1.2	Identificação do Problema	2
1.3	Objetivos e contributos esperados	3
1.4	Metodologia e abordagem preconizada	4
1.5	Motivação	4
1.6	Estrutura do Documento	5
2	Contexto e Estado da Arte	7
2.1	Digital Heritage	7
2.2	A Sé do Porto	13
2.3	Uso de RA (Realidade Aumentada)	18
2.3.1	Definição	18
2.3.2	Trabalhos relacionados	26
2.4	Ferramentas 3D para a reconstituição digital	30
2.4.1	O SketchUp	30
2.4.2	O Blender 3D	31
2.4.3	O 3ds Max	32
2.4.4	O Autodesk 123D Catch / ReMake	33
2.5	Análise de valor	34
2.5.1	Identificação de oportunidade	35
2.5.2	Análise de oportunidade	35
2.5.3	Seleção da Ideia	38
2.6	Resumo	41
3	Implementação	43
3.1	Análise e <i>Design</i> da solução	44
3.1.1	Conceito da aplicação	44
3.1.2	Requisitos	44
3.1.3	Diagrama de Caso de uso	45
3.1.4	Arquitetura do sistema	46
3.2	Realidade Aumentada	48
3.3	Reconstituição digital (modelação 3D)	50
3.4	Aplicação móvel	60
3.5	Impressão 3D	65
3.6	Resumo	68
4	Avaliação da solução	71

4.1	Forças e Hipóteses	71
4.2	Metodologias de avaliação	72
4.3	Resultados obtidos	73
4.3.1	Respostas no questionário sobre usabilidade.....	73
4.3.2	Respostas no questionário sobre os modelos 3D	76
4.3.3	Respostas no questionário para melhorias a efetuar na aplicação	78
4.4	Resumo	78
5	Conclusões e perspetivas de trabalho futuro	79
5.1	Conclusões	79
5.2	Trabalho futuro	81

Lista de Figuras

Figura 1 – A Sé do Porto no século XII (A) e século XVI (B)	9
Figura 2-Mapa da reconstituição de Lisboa antes do terremoto de 1755	10
Figura 3 - Igreja Patriarcal de Lisboa e Palácio Real, Jardins e Torre do Relógio	10
Figura 4 - Projeto Évora 3D. Origem: Évora 3D	11
Figura 5 - Castelo de Vimioso e Monforte de Rio Livre.	11
Figura 6 - Planta geral ao nível térreo antes das obras.	14
Figura 7 - Altares que foram movidos da Sé do Porto	15
Figura 8 - Claustro gótico antes e depois da reconstrução da DGEMN	16
Figura 9 - Alpendre de madeira no claustro superior	16
Figura 10 - Desenho antes das intervenções da DGEMN.	17
Figura 11- Abóbada central com estuque e pintura	17
Figura 12- Camadas do sistema de Realidade Aumentada.....	18
Figura 13 - Mix Reality.....	19
Figura 14 - Primeiro protótipo de HMD	20
Figura 15 - Resultado obtido em 1968 com o primeiro protótipo de RA	20
Figura 16 - Protótipo Project MARS	21
Figura 17 - AR PDA concept.....	21
Figura 18 - Virtual Lego	22
Figura 19 – Arquitetura do sistema ARToolkit	23
Figura 20 - Arquitetura do SDK Wikitude.....	23
Figura 21 – Arquitetura do sistema Tango.....	24
Figura 22 – VuMarks	25
Figura 23 - Aplicação de <i>scan</i> 3D	25
Figura 24 - Smart Terrain num Tablet	26
Figura 25 - Botões virtuais.....	26
Figura 26 - Protótipo de RA aplicada ao <i>Digital Heritage</i>	27
Figura 27 - Visualização de uma estrutura antes (a) e depois (b) da reconstituição 3D.....	27
Figura 28 – Mapa da cidade em estudo da aplicação	28
Figura 29 - Reconstituição de monumento com Realidade Aumentada	28
Figura 30 - Reconstituição em 3D do Coliseu em Roma	29
Figura 31 - Fotografia sobreposta ao mundo real com recurso a RA	30
Figura 32 – SketchUp	31
Figura 33 – Archimesh.....	31
Figura 34 - Escultura construída com o sistema Dynamic Topology Sculpting.....	32
Figura 35 - <i>Rendering</i> com o 3ds Max.....	33
Figura 36 – Diferença entre NURBS e polígonos.....	33
Figura 37 - Seleção de fotografias para o modelo 3D.....	34
Figura 38 - Modelo 3D final.....	34
Figura 39 - Previsão de investimento em RV e RA	36
Figura 40 - Preço de um HMD nos últimos anos.....	37

Figura 41 - Previsão de investimento em <i>software</i> para VR e AR até 2025.....	37
Figura 42 - Utilização de smartphones ao longo dos anos.....	38
Figura 43 – Caso de uso do protótipo	46
Figura 44 - Arquitetura geral do sistema.....	47
Figura 45 - Visualização dos modelos 3D	48
Figura 46 - Classificação das imagens com o sistema de estrelas.....	49
Figura 47 - Imagem com as <i>features</i> ativas.....	50
Figura 48 - Início da modelação 3D em Blender 3D	51
Figura 49 - Modelação inicial da empena barroca	51
Figura 50 - <i>Rendering</i> final da empena e "casa do sineiro"	52
Figura 51 - Fotografia da época e modelo 3D lado-a-lado.....	52
Figura 52 – Fotografias que retratam as intervenções nos arcos e o seu estado inicial.....	53
Figura 53 – Fotomontagem do arco abatido.....	53
Figura 54 - Malha 3D com o óculo central	54
Figura 55 - Fotografia da época e modelo 3D lado-a-lado.....	54
Figura 56 - Modelação da janela e modificações	54
Figura 57 - Fotografia da época e modelo 3D lado-a-lado.....	55
Figura 58 - Pilares centrais antes das intervenções	55
Figura 59 - Autodesk ReMake imagens para modelação automática.....	56
Figura 60 - Modelo 3D gerado pelo Autodesk ReMake	56
Figura 61 - Fotografia da época e modelo 3D lado-a-lado.....	57
Figura 62 - Esboço dos janelões barrocos	57
Figura 63 - Fotografias da época e modelo 3D lado-a-lado	58
Figura 64 - Alpendre visto da parte inferior do claustro gótico	58
Figura 65 - Teto de masseira do alpendre e planta existente.....	58
Figura 66 - <i>Rendering</i> final do alpendre com o teto de masseira	59
Figura 67 - Altares em 3D modelados com o Autodesk ReMake	59
Figura 68 - Interface de RA no Unity 3D.....	60
Figura 69 - Primeiros testes ao sistema de RA	60
Figura 70 - Planta da Sé do Porto com os modelos 3D em RA	60
Figura 71 - Primeiros testes ao sistema de RA	61
Figura 72 - Primeiros testes ao sistema de RA na Sé do Porto	61
Figura 73 - Primeiros testes ao sistema de RA na Sé do Porto	62
Figura 74 - Visualização de modelos 3D com opção de rotação e <i>zoom</i>	63
Figura 75 - Conjunto de imagens para a criação da textura	64
Figura 76 - Batistério com a textura aplicada.....	64
Figura 77 - Plantas com os pontos de RA	65
Figura 78 - Impressora 3D	65
Figura 79 - <i>Software</i> de impressão 3D	66
Figura 80 - Camada aderente na base da impressora.....	66
Figura 81 - Malha de preenchimento.....	67
Figura 82 - Vista da impressão a 60%.....	67
Figura 83 - Impressão 3D dos arcos abatidos do claustro inferior.....	68

Figura 84 - Interface da aplicação e menu principal	89
Figura 85 - Visualização dos modelos 3D e mapa com os pontos de interesse.....	90
Figura 86 - Piso inferior da Sé do Porto	91
Figura 87 - Piso superior do claustro gótico.....	92
Figura 88 - Rosácea gótica na entrada	92
Figura 89 - Arcos geminados.....	93
Figura 90 - Arcos de entrada.....	93
Figura 91 - Azulejos no claustro superior.....	94
Figura 92 - Torres e claustro superior	94
Figura 93 - Arcos de entrada	95
Figura 94 - Claustro superior.....	95
Figura 95 - Batistério	95
Figura 96 - Pilar central	96
Figura 97 - Vitral.....	96
Figura 98 - Banco na nave lateral esquerda.....	97
Figura 99 - Interface da aplicação dedicada à visualização dos modelos 3D.....	97

Lista de Tabelas

Tabela 1 - <i>Workflow Virtual Archaeology e CyberArchaeology</i>	12
Tabela 2 - Benefícios e sacrifícios da aplicação.....	39
Tabela 3 - Modelo de Negócio Canvas.....	40
Tabela 4 – Atributos para imagens	49
Tabela 5 – Planejamento da sessão	88

Lista de Gráficos

Gráfico 1 - Posicionamento dos modelos 3D em relação ao mundo real.....	73
Gráfico 2 – Avaliação da orientação dos modelos 3D.....	73
Gráfico 3 – Avaliação da fluidez da aplicação	74
Gráfico 4 - Funcionamento da aplicação no exterior.....	74
Gráfico 5 – Funcionamento da aplicação no interior da catedral.....	75
Gráfico 6 – Retenção de conhecimento com a aplicação	75
Gráfico 7 - Utilização de Realidade Aumentada no turismo/aquisição de conhecimento	75
Gráfico 8 - Funcionamento da aplicação em ambientes adversos	76
Gráfico 9 - Fidelidade dos modelos 3D	76
Gráfico 10 – Detalhe dos modelos 3D.....	77
Gráfico 11 - Iluminação dos modelos 3D	77
Gráfico 12 - Texturas dos modelos 3D	77

Acrónimos

2D	2 Dimensões
3D	Termo que refere 3 dimensões. Refere-se formato tridimensional com profundidade ou a ilusão de profundidade
AAC	Avaliação Assistida por Computador
ABS	<i>Acrylonitrile Butadiene Styrene</i>
AGEMN	Administração-Geral dos Edifícios e Monumentos Nacionais
API	<i>Application Programming Interface</i>
AR	<i>Augmented Reality</i>
CAD	<i>Computer-Aided Design</i>
CHAIA	Centro de História da Arte e Investigação Artística
CIDEHUS	Centro Interdisciplinar de História, Culturas e Sociedades
CITAR	Centro de Investigação em Ciência e Tecnologia das Artes
C.M.E.	Câmara Municipal De Évora
CNC	<i>Computer Numeric Control</i>
CRT	<i>Cathode Ray Tube</i>
DGEMN	Direcção-Geral dos Edifícios e Monumentos Nacionais
FDM	<i>Fused deposition modeling</i>
FLUP	Faculdade de Letras de Universidade do Porto
GILT	<i>Games Interaction and Learning Technologies</i>
HMD	<i>Head Mount Display</i>
IEM	Instituto de Estudos Medievais
LAMU	Laboratório Multimédia do DEI-ISEP
MR	Mistura de Realidades
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
NPC	<i>Non-Player Characters</i>
OSL	<i>Open Shading Language</i>
PC	<i>Player Characters</i>
PLA	<i>Polylactic Acid</i>

- RA** Realidade Aumentada
- RV** Realidade Virtual
- SDK** Software development kit
- SIPA** Sistema de Informação para o Património Arquitetónico
- UCP** Universidade Católica Portuguesa
- UNESCO** *United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization*
- VR** *Virtual Reality*

1 Introdução

Neste primeiro capítulo é feita a contextualização do tema da tese, evidenciando a ligação entre o turismo (nomeadamente do monumento Sé do Porto) e o aparecimento de novas potencialidades, como a Realidade Aumentada, recorrendo às novas tecnologias.

Primeiramente, é identificado o problema, sendo possível aferir que, dadas as mais profundas transformações decorrentes das intervenções de restauro e de conservação da Sé do Porto, perderam-se partes de extrema importância arquitetónica e de conhecimentos históricos impossíveis de recuperar fisicamente (o que obrigaria a intervenções profundas, impossíveis em alguns casos, na Sé).

De seguida são definidos os objetivos que visam o desenvolvimento de uma solução com potencial para aplicar técnicas de Realidade Aumentada associadas ao desenvolvimento de modelos 3D para proporcionar uma visualização da transformação da Sé do Porto ao longo do século XX.

Apresenta-se uma análise de valor, dado que a solução preconizada poderá ser útil para pedagogia e para transmissão de conhecimentos a todos os que visitam a Sé do Porto e a alunos desta área de conhecimento. São identificados alguns potenciais clientes e instituições para futura implementação deste protótipo a nível nacional.

Termina-se o capítulo com a apresentação da motivação para abraçar o presente estudo e com a organização do presente documento

1.1 Contextualização

Nos últimos anos verifica-se um enorme crescimento turístico na região do Porto (Turismo de Portugal, 2017) tendo a cidade sido eleita como melhor destino Europeu (European Best Destinations, 2017).

Dentro da cidade, é visível uma grande incidência do turismo cultural, sendo a Sé do Porto uma das principais atrações, dado que este monumento faz parte do Património Mundial da UNESCO (UNESCO, 1996).

Ao longo do século XX, a Sé do Porto foi alvo de uma grande intervenção a todos os níveis (1927-1946), alterando assim a sua fisionomia e aspeto, o que, para a maior parte dos visitantes, é totalmente desconhecido.

Estas alterações têm essencialmente dois grandes grupos de potenciais interessados: o turista que irá obter informações mais detalhadas sobre o monumento que visita e, não menos importante, os alunos de História de Arte a quem este tipo de informações é fonte de conhecimento.

Torna-se cada vez mais evidente a necessidade da criação de aplicações com potencial turístico e pedagógico que proporcionará aos utilizadores a transmissão de conhecimentos acerca de um determinado monumento.

Com a generalização e grande utilização de dispositivos móveis (por exemplo *smartphones*) e o advento da Realidade Aumentada (RA) abrem-se novos horizontes e podem ser explorados novos campos e novas aplicações que proporcionarão ao utilizador novos meios de interação.

Em Janeiro de 2016 o relatório da Goldman Sachs refere a RA e a RV (Realidade Virtual) como o grande *boom* tecnológico do momento (Bellini et al., 2016).

Dado o seu crescimento a RA revela-se uma tecnologia que pode ser aplicada no dia-a-dia e que tem cada vez mais espaço para utilização, tanto para aprendizagem como para atividades de lazer.

1.2 Identificação do Problema

A Sé do Porto integra uma zona inscrita há 20 anos na lista do Património Mundial da UNESCO (UNESCO, 1996) e, sendo classificada como Monumento Nacional desde 1910, tem um grande interesse cultural e turístico na região do Porto.

Ao longo do século XX, a Sé do Porto, monumento de cariz medieval, foi alvo das mais profundas transformações decorrentes das intervenções de restauro e de conservação da responsabilidade da Direcção-Geral dos Edifícios e Monumentos Nacionais (DGEMN) (Botelho, 2006a), entre as datas de 1929 e 1946. Esse será esse o período que vamos abordar e reconstituir, pelo interesse que lhe está associado e, também, por estar bem documentada com processos de obra, processos administrativos, processos fotográficos e gráficos de todas as alterações que ocorreram.

Com essas intervenções, os espólios arquitetónicos existentes foram irremediavelmente perdidos (destruídos ou modificados), sendo necessário encontrar alternativas tecnológicas com potencial para os preservar digitalmente, para além do espólio fotográfico existente.

A aplicação a desenvolver terá como principal alvo tornar-se uma ferramenta útil para pedagogia e transmissão de conhecimentos para todos os que visitam a Sé do Porto e servirá, também, como um guia para perceber as alterações arquitetónicas efetuadas pela Direção-Geral dos Edifícios e Monumentos Nacionais (DGEMN) ao longo do século XX (Instituto da Habitação e da Reabilitação Urbana, 2017).

Dada a importância da Sé ao nível do turismo, a aplicação poderá revelar-se uma ferramenta útil para o auxílio à promoção do turismo interativo com recurso a Realidade Aumentada.

1.3 Objetivos e contributos esperados

Um dos principais objetivos é proporcionar aos utilizadores uma visualização virtual das transformações da Sé do Porto ao longo do século XX, através de RA e alicerçada em modelos 3D; para tal, será necessário desenvolver e implementar uma solução para dispositivos móveis Android, partindo da identificação das *API (Application Programming Interface)* para desenvolvimento da aplicação e ferramentas / aplicações de modelação.

Ao longo do estudo será necessário entender o alcance e os princípios da London Charter (London Charter.org, 2009), Princípios de Sevilha (*Virtual Archaeology International Network / Sociedad Española de Arqueología Virtual*, 2011) e a *Charter on the Preservation of Digital Heritage* (UNESCO, 2003), que estipulam as regras e as boas práticas de visualização computadorizada do Património e explorar e apreender os conceitos técnicos relacionados com a Realidade Aumentada, com a modelação 3D e com as linguagens de programação / soluções existentes para proporcionar a visualização via RA.

A solução proposta será testada com utilizadores reais para validar os aspetos técnicos e funcionais e para aferir o potencial de uso dos modelos 3D produzidos para o estudo e acrescentados virtualmente por técnicas de RA em locais específicos e pré planeados e definidos da Sé do Porto.

Com a massificação do uso de dispositivos móveis e o crescimento exponencial do turismo em Portugal, nomeadamente na cidade do Porto, e visto que a Sé do Porto é um dos monumentos com um volume turístico significativo (Turismo de Portugal, 2017), a implementação de uma aplicação móvel com recurso a RA para visualizar as transformações ocorridas na primeira metade do século XX na Sé do Porto, seria uma mais-valia para o turismo e para a perceção dessas alterações a nível arquitetónico. Pretende-se que a solução a desenvolver seja implementada noutros monumentos tanto para visualização de reconstituições realizadas ao longo dos tempos como para reconstrução de edifícios que não existem atualmente, ou porque foram demolidos, ou porque nunca foram construídos.

1.4 Metodologia e abordagem preconizada

Para a demonstração da ideia inicial (visualização em RA aplicada ao património) e desenvolvimento da aplicação será necessário um estudo e análise da Sé do Porto na sua diacronia, com especial enfoque nas transformações que foram feitas no século XX, bem como na entidade que a efetuou.

Será feito um estudo sobre *Digital Heritage*, centrado na Carta de Londres (pois nela está sistematizado um conjunto de princípios para a visualização do *Digital Heritage*), nos Princípios de Sevilha e em reconstituições já existentes.

Na parte tecnológica serão estudadas as várias tecnologias existentes para a implementação da Realidade Aumentada (RA). Será feito um pequeno estudo sobre aplicações para modelação 3D tanto para reconstituição como para construção 3D. Com base neste estudo far-se-á uma análise e uma possível abordagem para o problema.

Será desenvolvido um protótipo com base nessa abordagem, que será testado por um grupo de utilizadores com um questionário para aferir o funcionamento da aplicação na Sé do Porto.

1.5 Motivação

Sendo o mestrando licenciado em Engenharia Informática, desde sempre lidou de perto com a tecnologia e foi acompanhando a sua evolução ao longo dos últimos anos, revelando constante interesse pelo uso de tecnologias emergentes, como é o caso dos dispositivos móveis e por novas técnicas com elevado potencial como é o caso da Realidade Aumentada.

Paralelamente, sempre manifestou interesse e gosto pela modelação 3D e foi explorando ao longo do tempo algumas das soluções de modelação existentes no mercado.

Abraçar um estudo desta natureza, onde é possível conjugar o uso de tecnologias emergentes, como é o caso da Realidade Aumentada com a modelação 3D e o facto de produzir algo útil para a sociedade e para a cidade do Porto é altamente motivante.

A perspetiva de aplicar este estudo a outros monumentos abre horizontes interessantes que merecerão uma análise mais profunda num futuro próximo.

Outro aspeto muito motivante é o facto de evoluir em termos pessoais e académicos através da escrita desta dissertação concomitantemente com desenvolvimento do protótipo que a suporta.

A partilha de conhecimento proporcionada pelos orientadores revela-se um importante fator motivacional sobretudo pelo facto de relacionar áreas de conhecimento tão distintas como a Engenharia e a História da Arte.

1.6 Estrutura do Documento

No primeiro capítulo é feita a contextualização do tema da dissertação, evidenciando a ligação entre o turismo e o aparecimento de novas tecnologias com novas potencialidades como a Realidade Aumentada, recorrendo ao caso específico do monumento Sé do Porto. Em primeiro lugar é identificado o problema da perda de património arquitetónico, devido às intervenções de restauro e de conservação da Sé do Porto decorridas no século XX. Seguidamente, são definidos os objetivos aos quais procura responder-se através da criação de uma solução para a aplicação da Realidade Aumentada ao património. No final do capítulo é revelada a motivação do presente projeto, bem como a organização da dissertação apresentada.

No segundo capítulo descreve a *Digital Heritage* e invoca-se a Carta de Londres e os Princípios de Sevilha, como regulamentadores da mesma. Apresenta-se, também, a análise de vários projetos existentes a nível nacional e internacional, bem como o estudo realizado acerca da Sé do Porto à luz da obra de Maria Leonor Botelho e do *website* do SIPA (Direção-Geral do Património Cultural, 2016). É, ainda, apresentado um estudo acerca da Realidade Aumentada (enfatizando a sua definição, desenvolvimento e aplicação em alguns trabalhos já existentes) e de diversas tecnologias para a modelação 3D, passíveis de serem utilizadas neste projeto. Como término do capítulo, é revelada a análise de valor do projeto, com suporte do documento da Goldman Sachs sobre AR e VR e o investimento previsto nesta área até 2025.

No terceiro capítulo encontra-se uma análise da aplicação, que contém a definição dos requisitos funcionais e não funcionais, a elaboração do caso de uso e os diagramas de sistema. Encontra-se, também, uma abordagem a algumas questões técnicas associadas à plataforma do Vuforia, à criação dos modelos 3D (a documentação necessária como é sugerido pela Carta de Londres), ao desenvolvimento da aplicação (posicionamento dos modelos 3D, testes efetuados com texturas, etc) e impressão 3D.

No penúltimo capítulo foi apresentada a metodologia de avaliação do protótipo, assim como as questões para que a aplicação fosse testada em ambiente real, na Sé do Porto. Com isso, obteve-se dados para que fosse possível fazer uma análise ao funcionamento do protótipo, transmissão e aquisição de conhecimento e utilidade na área da educação.

No último capítulo pode observar-se a análise dos resultados atingidos e perspetivas de trabalho futuro neste campo de estudo, como a aplicação destas tecnologias noutras áreas como o turismo.

2 Contexto e Estado da Arte

De acordo com a Unesco (UNESCO, 2016), o conceito de *Digital Heritage* integra o conjunto de materiais digitais existentes em computadores e dispositivos móveis com valor duradouro e que, dado o seu enorme valor cultural, deve ser preservado para as gerações futuras. Refere a Unesco que a herança digital é proveniente de diferentes comunidades, indústrias, setores e regiões. Os materiais digitais com valor duradouro, merecem e requerem preservação ativa e abordagens de continuidade sobretudo no que concerne ao património.

Neste capítulo será contextualizada a *Digital Heritage*, focalizado o estudo num monumento da cidade do Porto (a Sé do Porto), abordada a Realidade Aumentada e realizada uma reflexão sobre algumas aplicações móveis que a utilizam e aplicações para modelação 3D.

2.1 Digital Heritage

Segundo a UNESCO (UNESCO, 2016), *Digital Heritage* é a forma digital de preservar o património para as próximas gerações, tanto o património existente e que está em risco como o inexistente e que é reconstruído digitalmente. Todo o património que foi herdado do passado deve ser preservado e ser transmitido de geração em geração, pois tem valor histórico, quer seja património cultural, arquitetónico, natural, científico, ético ou antropológico. Mas, com a era digital, muitos conteúdos só existem digitalmente e também têm de ser preservados nessa mesma forma, através de textos, bases de dados, imagem, vídeo, áudio, *software*, páginas de internet, modelos 3D, entre outros. A preocupação com a preservação do património cultural, histórico ou natural, deverá ser tida, também, relativamente ao contexto digital, devendo este património digital ser, igualmente, preservado para as gerações futuras, como por exemplo o que sucede no *website* 3D Warehouse (Trimble, 2017a) que junta modelos 3D de património e outros temas ou o CyArk (Cyark.org, 2003).

Para que se faça a reconstituição de edifícios digitalmente, a Carta de Londres (London Charter.org, 2009) define os princípios para a utilização dos métodos e resultados da visualização computadorizada no campo da investigação e divulgação do património cultural.

Sumariamente, podemos encontrar na Carta de Londres (London Charter.org, 2009) os seguintes princípios que irão ser aplicados ao longo deste trabalho:

- Na Implementação sugere-se que todos os intervenientes em projetos de *Digital Heritage* deverão estar sensibilizados para a Carta de Londres, e que todos os projetos de *Digital Heritage* devem aplicar a Carta quer seja na investigação ou na divulgação do património cultural.
- Os Objetivos e Métodos referem que deve ser realizada documentação para cada método de visualização, definir qual o método mais adequado se possível, que metodologias utilizar (por exemplo, mais ou menos foto-realista, impressionista ou esquemático, com um baixo ou elevado nível de detalhe, representando as distintas hipóteses ou só os factos disponíveis, estático ou interativo, geral ou preciso...), ou se necessário desenvolver um novo método.
- As Fontes de Investigação devem ser identificadas, avaliadas e documentadas. Podem ser fontes digitais ou não digitais, consideradas durante o desenvolvimento ou que tenham influenciado esse desenvolvimento. É necessário dar atenção à forma como as fontes visuais poderão ser afetadas por fatores ideológicos, históricos, sociais, religiosos ou estéticos, entre outros.
- A Documentação deve ser efetuada de modo a que o projeto seja compreendido e avaliado em relação ao seu contexto e propósito. A documentação deverá refletir o estado atual, um restauro evidente ou reconstrução hipotética de um bem ou sítio, assim como se existir alguma incerteza factual. Na documentação também deve estar o motivo da escolha de um determinado método, com descrições detalhadas dos mesmos, o conhecimento deve ser partilhado pelos vários elementos dos grupos de trabalho, oriundos de várias áreas científicas.
- A Sustentabilidade do projeto deve ser assegurada, tanto o produto final como a documentação. Com as estratégias de conservação digital, que deverão assegurar a sobrevivência da informação para uso futuro. Mesmo assim aconselham a utilizar uma impressão de registos 2D ou neste caso 3D dos processos de visualização digital.
- O Acesso ao projeto deve ser considerado para que melhore o acesso ao património cultural, que de outra forma não era possível. Também deve ser pensado como uma ferramenta de estudo das mudanças que ocorreram ao longo do tempo.

Os Princípios de Sevilha (Virtual Archaeology International Network / Sociedad Española de Arqueología Virtual, 2011) têm como base a Carta de Londres e estabelecem alguns novos objetivos, que a complementam, tais como:

- Estabelecer linhas de orientação para que o público tenha uma perceção e apreciação do trabalho que é desenvolvido na arqueologia.
- Os projetos terem critérios para poderem ser avaliados no campo da arqueologia.
- A responsabilidade na utilização das novas tecnologias deve ser moderada.
- Promover estudos no património da arqueologia, na conservação e na promoção e aliar a tecnologia ao utilizar novos métodos de estudo.

- Para que seja elaborado um projeto é aconselhável a utilização de especialistas das várias áreas: informática, arqueólogos, arquitetos, engenheiros ou outros.

Um dos primeiros projetos de reconstituição 3D e, por conseguinte, *Digital Heritage*, realizado em Portugal surgiu, precisamente, no Porto, em 2005, tendo como tema de trabalho o Porto no Séc. XVI (Figura 1). Foi desenvolvido pelo Centro de Investigação em Ciência e Tecnologia das Artes (CITAR) (Universidade Católica Portuguesa, 2004) e teve como principal objetivo modelar a Sé do Porto e a sua zona envolvente (Jorge, Dias, & Estudos, 2014). Tendo em conta que o projeto já tem 12 anos, pode verificar-se que, quer a nível gráfico, quer em rigor, este projeto tem uma altíssima qualidade pois foi elaborado com a tecnologia *Bidirection Reflectance Distribution Function* (BRDF), tecnologia que recolhe informação 3D com elevada qualidade, mas também com um preço muito elevado. Para este projeto existiu um estudo e investigação histórica sobre como seria a Sé no século XVI, da autoria de José Ferrão Afonso e Maria Leonor Botelho, como sugere a Carta de Londres. Apesar deste projeto ter sido elaborado anteriormente à Carta de Londres, já implementava algumas das diretrizes contidas na Carta.



Figura 1 – A Sé do Porto no século XII (A) e século XVI (B) ¹

Um outro exemplo é o projeto Lisboa Pré-terramoto (Lisbon pre 1755 earthquake, 2008), desenvolvido no Centro de História da Arte e Investigação Artística (CHAIA) da Universidade de Évora desde 2008, com as parcerias da empresa Beta Technologies e do King's Visualization Lab – King's College London, que utiliza a plataforma Second Life (Linden Research, 2017), uma tecnologia que foi lançada em 2003, que simula um ambiente virtual e aspetos da vida real. Neste projeto é possível aceder a uma visita virtual da cidade de Lisboa antes do terramoto de 1755 (Figura 2). Para este projeto, segundo o *website* (Lisbon pre-1755 earthquake.org), foram recriados os exteriores do Paço da Ribeira, Rua da Capela, Torre do Relógio, Praça da Patriarcal, Real Ópera do Tejo e Pátio das Arcas.

¹ Reconstituição Digital em Património Os castelos de Vimioso e Monforte de Rio Livre https://sigarra.up.pt/flup/pt/pub_geral.show_file?pi_gdoc_id=483622



Figura 2-Mapa da reconstituição de Lisboa antes do terremoto de 1755 ²

Na figura seguinte (Figura 3) é possível visualizar dois edifícios reconstruídos digitalmente, que proporcionam uma visualização da Igreja Patriarcal de Lisboa (esq.) e Palácio Real, Jardins e Torre do Relógio (dir.).

Deste modo, torna-se possível obter uma visão simulada (virtual) dos edifícios e áreas envolventes.



Figura 3 - Igreja Patriarcal de Lisboa e Palácio Real, Jardins e Torre do Relógio²

Segundo Gonçalves (Gonçalves, 2015), o projeto Évora 3D (Figura 4) foi elaborado por uma equipa criada na Divisão de Cultura e Património da C.M.E. e os Centros CIDEHUS e CHAIA da Universidade de Évora, contando com o apoio da *Digital Innovation Graphics* como consultora externa.

Este projeto, que ainda está em desenvolvimento, tem como objetivo a reconstrução virtual da cidade em vários momentos: Século II d.C, que está em fase de conclusão, Século XI/XII que está concluído, Século XIV/XV que está em desenvolvimento e Séculos XVI, XVII e XIX que ainda não foram iniciados. É pretendido mostrar a evolução da cidade ao longo de 2000 anos, e efetuar uma visita virtual para que se tenha perceção do crescimento da cidade, não sendo unicamente

² Lisbon pre-1755 earthquake <https://lisbon-pre-1755-earthquake.org/>

uma ferramenta de turismo, mas também uma ferramenta pedagógica e colocando a história ao dispor de todos.



Figura 4 - Projeto Évora 3D. Origem: Évora 3D ³

Ricardo Dias (Jorge et al., 2014) elaborou a sua tese de reconstituição digital na Universidade do Porto, inserida no Mestrado em História de Arte Portuguesa, abordando o tema da Castelogia e reconstruindo os castelos de Vimioso (concelho de Vimioso) e Monforte de Rio Livre (concelho de Chaves) (Figura 5), utilizando como referência o Livro das Fortalezas de Duarte de Armas (século XVI). Para este projeto foi necessário um estudo prévio sobre a reconstituição digital, técnicas de reconstrução 3D, *software* a utilizar e os vários trabalhos existentes ao longo dos anos. Houve, também, o trabalho de tradução da Carta de Londres para português em coautoria com Maria Leonor Botelho, que, posteriormente, foi aprovada como versão oficial de tradução da carta ⁴. Deste trabalho resultaram os modelos 3D e vídeos ilustrativos, que foram arquivados, e que estão disponíveis para consulta no *website* que foi criado para a tese Castelos 3D (Dias, 2014), como é aconselhado na Carta de Londres.

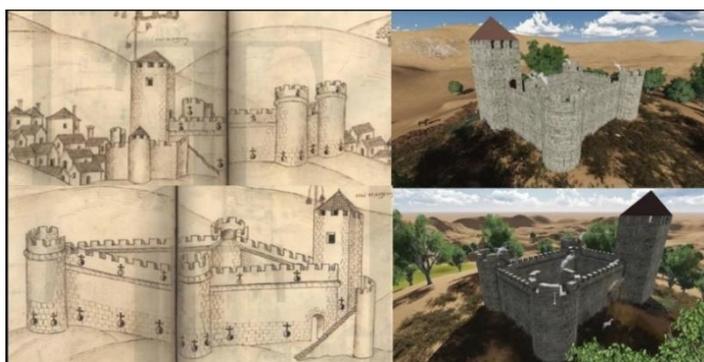


Figura 5 - Castelo de Vimioso e Monforte de Rio Livre. ⁵

³ Yábura Project – Disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=hPrXFPXMhVs>

⁴ http://www.londoncharter.org/fileadmin/templates/main/docs/london_charter_2_1_pt.pdf

⁵ Reconstituição Digital em Património Os castelos de Vimioso e Monforte de Rio Livre https://sigarra.up.pt/flup/pt/pub_geral.show_file?pi_gdoc_id=483622

De entre diversos projetos internacionais que utilizam a *Digital Heritage*, um dos investigadores que mais se destaca é Maurizio Forte, professor na Universidade Duke, Carolina do Norte nos Estados Unidos da América, com dezenas de artigos científicos e inúmeras conferências e livros sobre o tema. Citar-se-á os seus artigos mais relevantes para presente estudo, como é o exemplo de “*3D Recording and Modelling in Archaeology and Cultural Heritage*” (Maurizio Forte, 2014), que aborda temas como as Realidades Virtuais e *Cyberarchaeology*. As Realidades Virtuais, segundo Maurizio Forte, consistem em todo o mundo virtual que nos rodeia, redes sociais, mundos 3D, as atividades que fazemos no dia-a-dia e fazem, também, uma ligação entre essa realidade e a reconstrução de património, que se for feita de forma errada compromete a transmissão de conhecimento. Mas, essa reconstrução de património pode ser interpretada de várias formas, de acordo com a cultura e a história de quem está a visualizar essa reconstrução, tornando a perceção do passado relativa. Um desses exemplos de Realidade Virtual são os jogos 3D, com motores gráficos de ultima geração, grande detalhe na construção de edifícios e no enredo para que os jogadores participem ativamente nesse mundo virtual, o chamado “*gamification*” (Kapp, 2012).

Todas as alterações que têm existido, tanto nas interfaces com o utilizador, como nas tecnologias utilizadas, trarão uma interpretação do real e do virtual que criará uma realidade híbrida capaz de combinar objetos reais e virtuais no mesmo ambiente. Conclui, assim, Maurizio Forte, em 2014, que a Realidade Aumentada se refere à realidade híbrida anteriormente referida. A *Cyberarchaeology* pode definir-se como a evolução da Arqueologia Virtual que começou no final dos anos 90 com Maurizio Forte a ser um dos pioneiros nesta área começando com simples reconstruções, como foi o caso de Roma, Tenochtitlan, Pequim e Catalhuyuk, sem que existisse um estudo prévio e uma análise científica. Estes primeiros modelos 3D eram simplesmente estáticos e sem interação com o utilizador. Também é referido este período em que estamos (2010) como a “*wow era*”, pois com o avanço da tecnologia os modelos 3D são mais realistas, com estudo prévio, discussão em torno da cultura e arqueologia. Esta era representa um digital “*big bang*” para a arqueologia virtual, com a utilização de tecnologias para investigação e representação da arqueologia e monumentos (M. Forte, 2010). Podemos ver na tabela seguinte as diferenças entre o *workflow* da arqueologia virtual e a CyberArchaeology e os diferentes resultados obtidos com cada um dos sistemas (Tabela 1).

Tabela 1 - *Workflow Virtual Archaeology e CyberArchaeology*

Virtual Archaeology workflow	CyberArchaeology workflow
Data capturing (analog)	Data capturing (digital)
Data processing (analog)	Data processing (digital)
Digitalization from analog sources (analog-digital)	Digital input (from digital to digital)
Digital outcome: 3D static or pre-registered rendering	Digital outcome: virtual reality and interactive environments (enactive process)

Neste mesmo documento, Maurizio Forte refere o seu projeto “Roman Villa of Livia” de 2007, que visa a reconstrução de uma vila romana em 3D, utilizando *laser scanning*. Nesta mesma reconstrução são adicionadas atividades sociais com avatares digitais (Livia, Augustus e outros), utilizando NPC (*non-player-characters*) e PC (*player characters*), tornando a vila num conteúdo mais dinâmico e com vida própria, à imagem de um jogo de computador, não sendo só os modelos 3D reconstruídos como na arqueologia virtual. Com essas simulações, as reconstruções 3D ficam mais apelativas aos utilizadores e, com isso, aumenta o potencial de reunir várias interpretações no mesmo espaço virtual para que se transmita novo conhecimento.

Hugh Denard, que é um dos fundadores da Carta de Londres, também se dedica à criação de projetos de reconstrução de património, com o “The Pompey Project: Digital Research and Virtual Reconstruction of Rome’s First Theatre” (Beacham & Denard, 2003). Este projeto teve por fim a reconstrução do teatro romano em Pompeia e a sua visualização em 3D com recurso a Realidade Virtual. Com a Realidade Virtual podemos visitar o teatro de várias formas e aprender de uma forma diferente ao fazer uma visita virtual. A equipa que conseguiu tornar este projeto possível era formada por especialistas em: modeladores 3D e VR, especialistas em base de dados, historiadores e arqueólogos.

Para o presente projeto também houve necessidade de estudar o impacto do turismo cultural no Porto, e segundo Maria Leonor Botelho (Botelho & Ferreira, 2014), o turismo e o património no Porto podem ser, simultaneamente, um risco e uma oportunidade um para o outro, pois com o crescimento do turismo é necessário conservar a autenticidade do património e gerir o turismo de forma sustentável. Obviamente que, se temos turistas de várias origens, com diferentes culturas, interesses, níveis de educação e língua, os serviços de apoio ao turismo têm de se adaptar a essa diversidade de visitantes. Para que isso aconteça, quem recebe (Porto), terá de se adaptar a todos os visitantes e estar informado dos vários monumentos, com estudos científicos e com fontes credíveis, para que o conhecimento transmitido não seja errado. Os projetos que foram apresentados neste capítulo são exemplos de boas práticas e aplicação da Carta de Londres, para transmissão de conhecimento patrimonial, recorrendo, para o efeito, às plataformas digitais.

2.2 A Sé do Porto

Uma das premissas necessárias para levar a bom termo o presente estudo é conhecer com algum detalhe o monumento selecionado para estudo.

Neste sentido, são apresentados em seguida alguns aspetos sobre a Sé do Porto com base no livro de Maria Leonor Botelho, “A Sé do Porto no século XX” (Botelho, 2006a), artigos científicos da mesma autora e o *website* do SIPA (Direção-Geral do Património Cultural, 2016), de onde será retirada a informação para este capítulo pois contém informações, plantas, alçados, cortes, desenhos e fotografias da Sé do Porto em várias épocas.

Para que a reconstrução da Sé do Porto seja o mais autêntica e cientificamente correta possível, utilizar-se-á os princípios da Carta de Londres e Princípios de Sevilha que remetem para essas práticas, assim como todos os projetos que foram apresentados e que utilizam esses princípios e os seguem como guia. Como refere Maria Leonor Botelho no artigo sobre o turismo no Porto que foi referido no capítulo anterior, como base para a reconstituição 3D e para adquirir mais conhecimentos utilizar-se-á o *website* do SIPA (Direção-Geral do Património Cultural, 2016) por ter grande parte da informação necessária para que se faça uma ponte entre a teoria e a prática e se aplique o que foi apresentado anteriormente. Uma das formas de validar essa reconstituição é a utilização do fotorrealismo como foi referido por Maurizio Forte.

Podemos referir que a construção da Sé do Porto está envolta em lendas, mas pensa-se que foi iniciada na segunda metade do século XII, após a reconquista de Lisboa por D. Afonso Henriques aos mouros em 1147, existindo já no local um pequeno templo ou ermida pré-românica, no Morro da Pena Ventosa, como relata a carta do cruzado Osberno (Botelho, 2016).

As obras de construção da catedral prolongaram-se por todo o século XIII- os reinados de D. Sancho I (1185-1211) e de D. Afonso II (1211-1223) sendo os períodos de construção mais intensa, há medida que o território nacional se ia organizando e expandindo para Sul. A construção de toda a Sé do Porto só foi concluída a meio do século XVI (1557), coincidindo com a última fase de arquitetura manuelina (Botelho, 2016).

A estrutura catedralícia é formada por várias partes, sendo a igreja composta por três naves escalonadas, de cinco tramos cada uma, transepto saliente e capela-mor retangular (Figura 6).

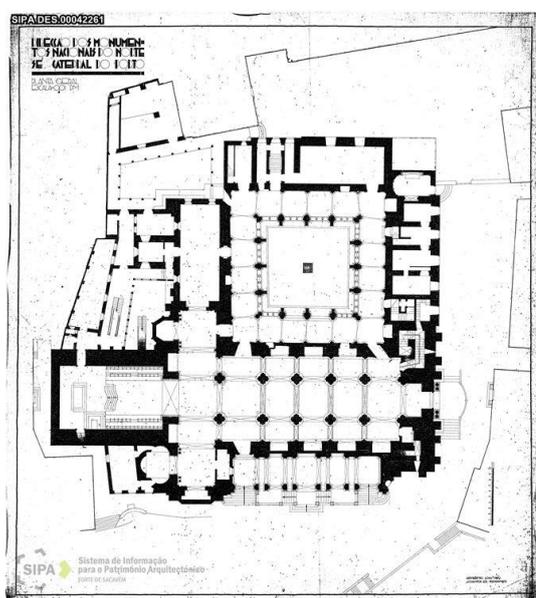


Figura 6 - Planta geral ao nível térreo antes das obras. ⁶

A atual capela-mor data entre 1606 a 1610, encomendada pelo bispo D. Frei Gonçalo de Moraes (1603-1617), sendo uma estrutura retangular remete ao estilo maneirista. A fachada principal

⁶ SIPA – DGEMN http://www.monumentos.gov.pt/Site/APP_PagesUser/SIPA.aspx?id=1086

contém duas torres quadradas, tendo entre a torre e o braço do transepto da fachada norte a galilé setecentista. Juntamente com a catedral temos o claustro posicionado a sul, como é comum, e rodeado por outras construções anexas. O claustro é conhecido por “claustro gótico”, apresentando uma planta quadrangular, formada por quatro galerias, com cinco tramos cada, existindo diversas dependências cardinalícias, várias capelas e altares. Existe também o chamado “claustro velho” que tem atualmente uma configuração de um polígono irregular e estando do lado nascente do claustro gótico foi utilizado anteriormente com o “pomar da Sé” (Botelho, 2006a).

A Sé do Porto foi alterada na sua imagem entre 1927 e 1946 pela extinta Direcção-Geral dos Edifícios e Monumentos Nacionais (DGEMN) para que voltasse a ter aquilo que se considerava ser uma imagem inicial românica, e por isso quase todos os elementos de origem barroca que foram introduzidos no período da Sé vacante de 1717-1741, foram destruídos e retirados, como é o exemplo dos altares (Figura 7) que foram cedidos a outras igrejas da região do Porto: dois encontram-se na igreja paroquial de Santa Maria de Lamas, outro na capela do Monte da Assunção, em Santo Tirso (Centro De Estudos De História Religiosa Universidade Católica Portuguesa, 2014).



Figura 7 - Altares que foram movidos da Sé do Porto⁷

As grandes janelas barrocas também foram substituídas por elementos românicos, frestas que foram reconstruídas parcial ou totalmente (Figura 8) com isso a luz que entra no interior das naves fica menor e dá um aspeto mais sombrio à Sé do Porto.

⁷ Fotografias de Maria Leonor Botelho



Figura 8 - Claustro gótico antes e depois da reconstrução da DGEMN⁸

Como se pode ver na imagem acima, além das janelas os dois arcos abatidos que eram a passagem do claustro gótico para o seu pátio central, também foram alterados. A ideia que a DGEMN tinha, era de que tudo devia estar em sintonia e porque acreditavam que os arcos tinham *sido grosseiramente mutilados, foram repostos os respetivos colunelos e arquivoltas*, restabelecendo-se *a perdida harmonia do conjunto*, tornando assim todos os pilares e arcos homogéneos (Botelho, 2006a).

No claustro superior foi retirado o alpendre em madeira de três alas do claustro (Figura 9), que tinha sido acrescentado pois era considerado um acréscimo, que representava apenas um capricho construtivo, e também por não representar a beleza e grandeza estética que segundo a DGEMN o claustro gótico deveria ter (Botelho, 2006a).



Figura 9 - Alpendre de madeira no claustro superior⁹

As intervenções feitas pela AGEMN (Administração-Geral dos Edifícios e Monumentos Nacionais), a antecessora da DGEMN, focaram-se na fachada principal, e que contemplaram a demolição da Casa do Sineiro e da empena barroca que existia (Figura 10), o que causou uma grande alteração na imagem da Sé e até foram feitos estudo para verificar se essa demolição

⁸ SIPA – DGEMN http://www.monumentos.gov.pt/Site/APP_PagesUser/SIPA.aspx?id=1086

⁹ SIPA – DGEMN http://www.monumentos.gov.pt/Site/APP_PagesUser/SIPA.aspx?id=1086

não afetava a estrutura da Sé. Com isto, toda a parte superior da Sé foi reparada, os telhados, as torres, tudo foi alterado á imagem românica(Botelho, 2006b).

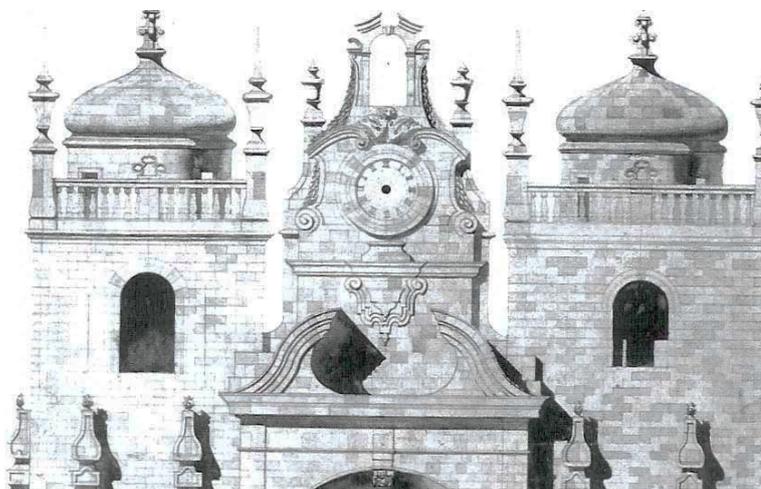


Figura 10 - Desenho antes das intervenções da DGEMN. ¹⁰

O interior da igreja também foi bastante alterado, pois era todo revestido a estuque, que foi removido, como é o caso da abóbada central (Figura 11).



Figura 11- Abóbada central com estuque e pintura¹¹

¹⁰ Desenho do arquiteto Alfredo Machado, 1928. SIPA – DGEMN
http://www.monumentos.gov.pt/Site/APP_PagesUser/SIPA.aspx?id=1086

¹¹ SIPA – DGEMN http://www.monumentos.gov.pt/Site/APP_PagesUser/SIPA.aspx?id=1086

Retiraram-se muitos dos elementos barrocos das naves laterais, todos os pilares foram modificados e intervencionados pois estavam muito degradados. O chão também foi alterado, passando de madeira para granito.

Todas estas alterações e outras que não foram mencionadas serão consideradas e estudadas para que integrem a aplicação, para que esta informação seja perceptível a todos os visitantes da Sé do Porto.

2.3 Uso de RA (Realidade Aumentada)

A Realidade Aumentada (RA) tem como principais objetivos: combinar objetos reais e virtuais no mundo real, ter uma interatividade em tempo real e alinhar objetos reais e virtuais uns com os outros. O sistema que faz com que a Realidade Aumentada seja possível é composto por vários componentes, que foram evoluindo desde 1965 até aos dias de hoje. Segundo Bimber e Raskar (Bimber & Raskar, 2005), essas componentes são: *tracking* e *registration*, *display technology* e *rendering* como é visto na próxima imagem (Figura 12).

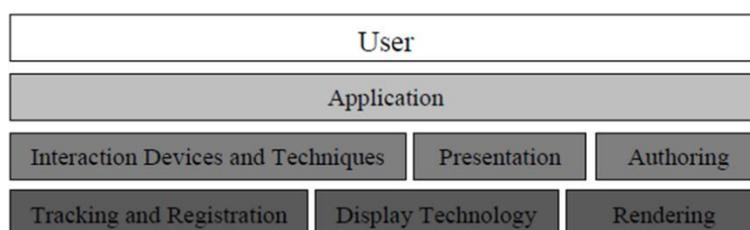


Figura 12- Camadas do sistema de Realidade Aumentada¹²

2.3.1 Definição

Aumentar, como indica no dicionário da Porto Editora, é ato de acrescentar, adicionar, progredir, prosperar, subir ou enriquecer algo. Neste caso, vamos aumentar o mundo real e enriquecê-lo com referências e objetos criados artificialmente, mas sem perder o mundo real, como acontece na Realidade Virtual (RV), em que o utilizador entra num mundo virtual que não pode controlar da mesma forma que na Realidade Aumentada (RA). A Realidade Aumentada é uma Mistura de Realidades (MR)¹³, entre o mundo real e a Realidade Virtual (Figura 13), estando, assim, a Realidade Aumentada no meio dos dois mundos. A grande vantagem da RA, com os avanços da tecnologia e dos dispositivos móveis, é estar ao alcance os utilizadores de todos e em qualquer lugar, proporcionando uma viagem imersiva e de simples utilização.

¹² <http://pages.cs.wisc.edu/~dyer/cs534/papers/SAR.pdf>

¹³ Mistura de realidades junta objetos / informações virtuais e reais apresentando tudo no mesmo espaço. A MR é a ligação entre RA e RV (Tamura, 2000)

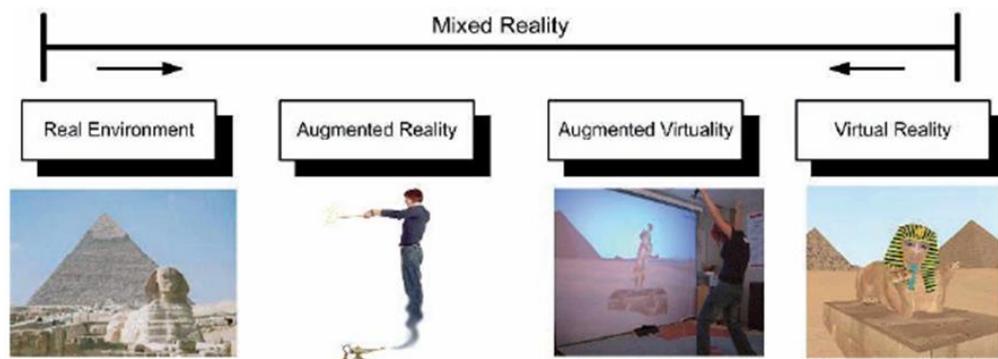


Figura 13 - Mix Reality¹⁴

Mas, nem sempre foi assim e a Realidade Aumentada demorou até alcançar o que é hoje.

Os primeiros testes com Realidade Aumentada datam do final de 1960, na Universidade de Harvard, um professor de engenharia eletrônica, Ivan Sutherland, publicou um artigo científico com o título “The Ultimate Display” (Sutherland, 1965). Nesse artigo de 1965, Sutherland fez várias teorias sobre alterar o modo como interagimos com o computador, referindo também monitores que se conseguisse visualizar o mundo real em simultâneo com o mundo virtual, esse monitor seria algo como: “*With appropriate programming such a display could literally be the Wonderland into which Alice walked*”.

Já em 1968 Sutherland e uma equipa da universidade de Harvard conseguiu concluir o *Ultimate Display*, e nasceu assim o primeiro dispositivo de Realidade Aumentada, utilizando todo o processamento possível nessa altura e só conseguiram produzir os sólidos em *wireframe*, só as linhas principais, pois o único computador com performance para produzir sólidos com preenchimento era da NASA e não foi disponibilizado para estes testes. A tecnologia CRT para os monitores foi reduzida ao máximo para que se conseguisse um dispositivo para ser montado na cabeça do utilizador (HMD) (Figura 14). Estes monitores permitiam ver as imagens e ver os objetos do mundo real. Também foi equipado com vários sensores para *tracking* e feitos testes com vários tipos de sensores, mecânicos e ultrassónicos.

¹⁴ <https://doi.org/10.1109/ISAR.2000.10019>

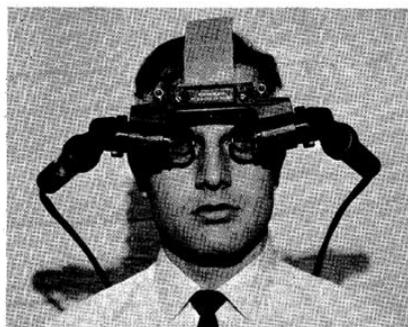


Figura 14 - Primeiro protótipo de HMD¹⁵

Existia um sistema mecânico de ajuste para cada olho e *software* para fazer esse ajuste, para que fosse possível ver as duas imagens em simultâneo e ter o efeito 3D que se desejava. A melhor imagem que se obteve e já com uma grande evolução nos computadores foi um quarto com N, S, E, W e C e F como mostra a seguinte imagem (Figura 15).

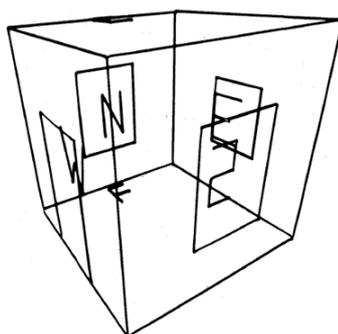


Figura 15 - Resultado obtido em 1968 com o primeiro protótipo de RA¹⁵

A Realidade Aumentada na década de 1970 não evoluiu, o que evoluiu foram principalmente os sensores de *tracking*, depois nos anos noventa com o avanço dos sistemas gráficos e processadores, a tecnologia de Realidade Aumentada já estava mais próxima dos utilizadores comuns para ser estudada. Nesta altura já se referenciava Realidade Aumentada móvel, com um computador portátil, já existindo alguns protótipos funcionais como o Project Mars (Columbia University, 1996) (Figura 16), que foi desenvolvido pela universidade de Columbia, com o intuito de criar o primeiro sistema de Realidade Aumentada móvel.

¹⁵ The ultimate display. <https://doi.org/10.1109/MC.2005.274>

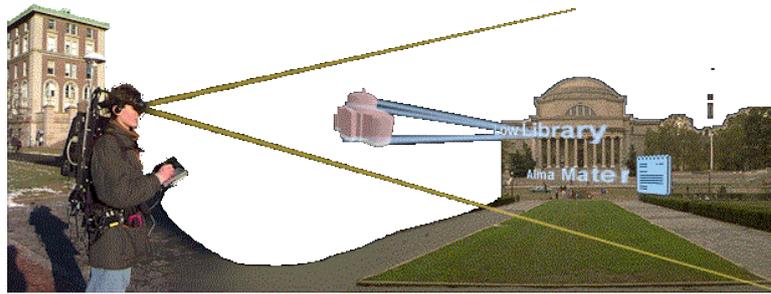


Figura 16 - Protótipo Project MARS¹⁶

Com o aparecimento do PDA, começaram os projetos de RA móvel com a aplicação AR-PDA em 2001 na Alemanha por Geiger (Geiger, Kleinnjohann, Reimann, & Stichling, 2001) e um grupo de investigadores da C-LAB. Utilizando um PDA, que nessa época já tinha um processamento de dados relativamente bom, e fazendo todo o processamento de reconhecimento de imagem, *rendering* de imagem e processamento de vídeo por serviços remotos no servidor, abrindo assim uma nova era nas aplicações de RA. O objetivo principal desta aplicação foi trazer as aplicações de RA para o consumidor comum e melhorar as suas atividades diárias como compras, visitas guiadas, jogos, tarefas domésticas ou aplicações técnicas (Figura 17).

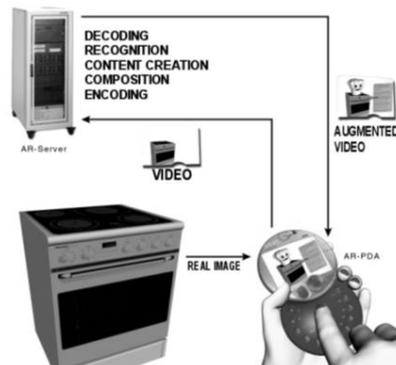


Figura 17 - AR PDA concept¹⁷

De 2003 até 2007, com os primeiros *smartphones* a aparecer no mercado, a tecnologia de RA passou naturalmente do PDA para o *smartphone*, mas esses primeiros modelos tinham pouca capacidade de processamento sendo necessário pensar noutras formas de adaptar a Realidade Aumentada a esta tecnologia emergente. Utilizando o Bluetooth e a rede GSM/GPRS para comunicar com servidores e fazer o envio de imagem que era captada pelo *smartphone*, da mesma forma que era feito com o PDA, o servidor é que tinha a árdua tarefa de fazer o processamento de imagem e *rendering*, servindo a lente da câmara do *smartphone* como entrada de imagem e o ecrã como monitor do que era feito pelo servidor. Os investigadores Anders Henrysson e Mark Ollila (Henrysson, Billingham, & Ollila, 2005) conseguiram portar a tecnologia ARToolKit (ARToolKit, 2017a) para telemóveis com sistema operativo Symbian como

¹⁶ Project Mars <http://monet.cs.columbia.edu/projects/mars/mars.html>

¹⁷ AR PDA concept <https://doi.org/10.1109/ISAR.2001.970532>

o Nokia 3650 que foi utilizado para testes. Conseguiram criar dois jogos com recurso a RA, foram o Virtual Lego (Figura 18) e o Collaborative AR que foram um avanço no desenvolvimento desta tecnologia nos dispositivos móveis, tornando a tecnologia mais móvel e apelativa para a criação de aplicações RA móveis.



Figura 18 - Virtual Lego¹⁸

Em 2008, com a Apple a entrar no mercado com o Iphone 3G e em 2009 com o Iphone 3GS possibilitou uma nova mudança no desenvolvimento de *software* com Realidade Aumentada, pois incluía uma nova câmara com maior resolução, a capacidade de gravar vídeo, um novo processador, bússola digital e ligação de dados 3G o que tornou a ligação com a internet mais rápida e fluida. Com isso a plataforma ARToolKit (ARToolKit, 2017a) foi aplicada ao Iphone 3G aproveitando os novos recursos de tecnologia existentes. O mesmo aconteceu com os *smartphones* Android em 2011 com a plataforma ARToolKit a estar disponível para este sistema operativo (ARToolKit, 2017b).

Atualmente com a evolução dos *smartphones* nos últimos anos, a grande capacidade de processamento computacional com processadores quad-core, octa-core e deca-core com processadores gráficos dedicados, também eles com tecnologia dual-core e quad-core com suporte para OpenGL® ES 4.0 e Direct X 11 como o exemplo Apple A10 Fusion GPU / PowerVR (Hinum, 2016) que é utilizada no Iphone 7 e que obtém uma performance a par de computadores portáteis, a Realidade Aumentada está a ser utilizada em *smartphones* em vez da utilização de óculos HMD, computadores ou PDA. Passou a ser uma tecnologia que pode ser utilizada por toda a gente e a ser aplicada numa ampla área de atividades como a medicina, engenharia, arquitetura, *design* de interiores, turismo, aprendizagem entre outras.

Existem várias API para desenvolvimento de aplicações de RA:

- ARtoolkit (ARToolKit, 2017a), que foi um dos primeiros a ser desenvolvido, como foi referido anteriormente, e sendo uma das melhores opções de utilização pois é *open-source*, tem uma documentação bastante completa, tem *SDK* para Mac OS X, PC, Linux, Android, iOS e *plugins* para o Unity 3D (Unity 3D, 2017) e *Unreal Engine* (Epic Games, 2017) que são motores gráficos maioritariamente utilizados para desenvolver jogos.

¹⁸ Augmented Reality on Mobile Phones <http://www.ep.liu.se/ecp/016/007/ecp01607.pdf>

Está otimizado para *mobile* e para HMD. Tem sistemas *tracking* para *markers* e imagem, calibração automática da câmara e possibilidade de utilização dos sensores dos *smartphones*. Podemos ver na próxima imagem (Figura 19) a arquitetura do sistema.

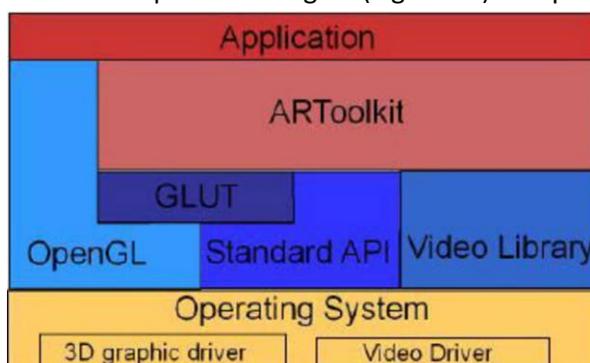


Figura 19 – Arquitetura do sistema ARToolkit¹⁹

- Wikitude (Wikitude, 2015) é um sistema pago, com suporte para sistemas operativos *mobile* Android, iOS e HMD, conta também com vários serviços em *cloud* de reconhecimento de imagem e um *studio*, que permite que as aplicações criadas com o Wikitude tenham a possibilidade de ser editadas *online*, e que, com um só desenvolvimento se consiga exportar para várias plataformas (Figura 20).

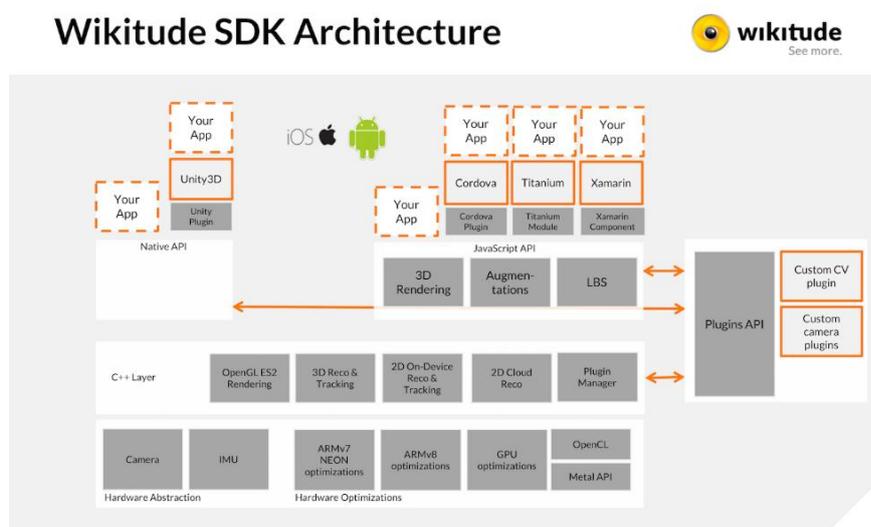


Figura 20 - Arquitetura do SDK Wikitude²⁰

- Tango (Google, 2015) é um projeto da Google que pode ser utilizado em várias plataformas, como podemos ver na imagem seguinte (Figura 21). Utiliza duas câmaras e vários sensores para que o *smartphone* funcione como o olhar humano, faz um estudo de todo espaço envolvente, paredes, pavimento, objetos, distâncias, entre outros.

¹⁹ ARToolkit framework <https://www.hitl.washington.edu/artoolkit/documentation/devframework.htm>

²⁰ ARCHITECTURE OF THE WIKITUDE SDK

<https://www.wikitude.com/external/doc/documentation/6.0/androidnative/gettingstartedandroidnative.html>

Essas capacidades são adquiridas através de três tecnologias: *Motion Tracking*, *Area Learning*, e *Depth Perception*.

- *Motion Tracking* neste tipo de tecnologia o *smartphone* sabe sempre onde está localizado no espaço e para que sentido está orientado. Fazendo uma analogia ao rato do computador, mas em vez, de se movimentar numa superfície plana, o mundo real é essa superfície.
- *Area Learning* é como a memória fotográfica humana que regista todos os locais por onde passa, uma porta, escadas, a casa de banho mais próxima, e utiliza toda essa informação para ajudar o utilizador e também para melhorar fiabilidade do *Motion Tracking*.
- *Depth Perception* que no projeto da Google faz com que a Realidade Aumentada seja mais interativa e que faça parte por completo do mundo real, confere a percepção das formas dos objetos na envolvência do utilizador, como por exemplo podemos criar uma personagem virtual e essa personagem pode saltar, interagir com uma mesa ou qualquer outro objeto que exista no mundo real.

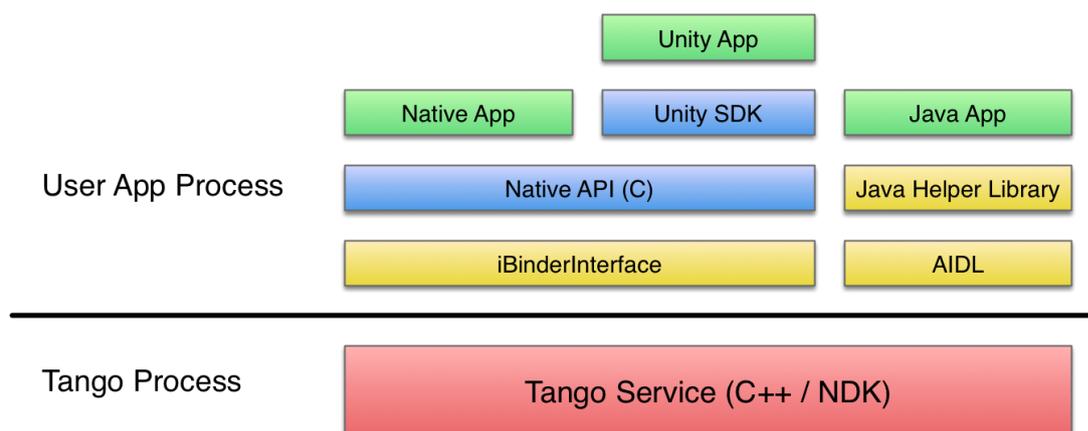


Figura 21 – Arquitetura do sistema Tango²¹

Mas o projeto Tango só está disponível em dois dispositivos da Google, o “Yellowstone tablet” e o “Peanut phone”, mais recentemente da Lenovo o “Lenovo Phab 2 Pro” e da Asus o “Asus Zenfone AR” que foi lançado este ano, com preços altos para o utilizador comum. Esta tecnologia é bastante inovadora, mas ainda está em desenvolvimento, e talvez num futuro próximo seja uma ótima solução para aplicações de Realidade Aumentada e para Realidade Virtual.

- Vuforia (PTC, 2016) é o *software* desenvolvido pela Qualcomm em 2010 e é utilizado para desenvolver inúmeras aplicações. Existem mais de 300 mil *developers* que utilizam esta plataforma (PTC, 2017b). Foi adquirido pela PTC em 2015 (PTC, 2017a), a PTC é uma empresa especializada em IoT e Realidade Aumentada, que tem crescido e

²¹API Overview <https://developers.google.com/tango/apis/overview>

adquirindo inúmeras empresas de que estão na mesma área de negocio de Realidade Aumentada. Sendo o Vuforia um SDK com inúmeras características e apropriado para desenvolver aplicações com recurso a Realidade Aumentada contando com:

- Visão computadorizada que veio substituir os sensores físicos de *tracking* com a capacidade de seguir os objetos, saber onde estão localizados, funcionando como uma memória visual.
- Reconhecimento de imagem, texto e objetos.
- *VuMarks* (Figura 22) é uma solução recente que é uma atualização dos primeiros, *markers*, que podem ser customizados e ser iguais ao logotipo de uma empresa, contendo realidade aumentada e mais informações sobre essa empresa ou serviço.



Figura 22 – VuMarks²²

- *Vuforia Object Scanner* (Figura 23), é um serviço de *scan* de objetos reais para objetos 3D, disponível em dois dispositivos móveis Android, Samsung Galaxy S e Google Nexus 5.



Figura 23 - Aplicação de *scan* 3D²³

- Multiplataforma, está disponível para inúmeros dispositivos moveis Android, iOS, HMD, Windows, incluindo a plataforma de desenvolvimento Unity.

²² VuMarks <https://library.vuforia.com/articles/Training/VuMark>

²³ Object Scanner <https://library.vuforia.com/content/vuforia-library/en/articles/Training/Vuforia-Object-Scanner-Users-Guide.html>

- *Smart Terrain* (Figura 24) permite utilizar o mundo real no mundo virtual e criar objetos com que o utilizador pode interagir, tornando assim as aplicações de realidade aumentada mais imersivas e entusiasmantes.



Figura 24 - Smart Terrain num Tablet²⁴

- *Virtual Buttons* (Figura 25) é um mecanismo que tem a possibilidade de transformar imagens em imagens interativas com botões para que tenham interações. Quando é reconhecida a imagem os botões ficam disponíveis. Algo muito útil para desenvolver aplicações com Realidade Aumentada.

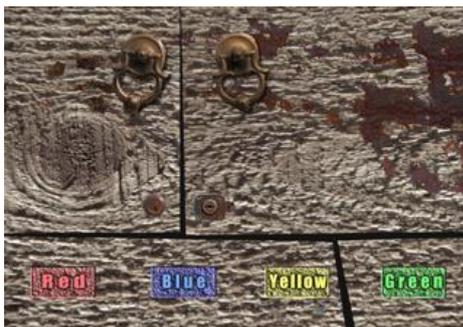


Figura 25 - Botões virtuais²⁵

- *Vuforia Target Manager* é o sistema de gestão de imagens e base de dados que vamos utilizar para fazer reconhecimento de imagens, objetos ou *VuMarks*. Funciona na web, sendo de fácil interação e modificação de imagens para serem reconhecidas.

2.3.2 Trabalhos relacionados

Com a possibilidade que a Realidade Aumentada oferece de recriar um objeto 3D e apresentar em conjunto com o mundo real, é considerada como uma ferramenta de comunicação tecnológica inovadora. Com esta tecnologia de comunicação, podemos juntar a RA com a reconstituição de edifícios, e poderemos viajar no tempo e ter a perceção dos edifícios ou objetos

²⁴ Vuforia Smart Terrain https://www.youtube.com/watch?v=JvE_7filGsY

²⁵ Virtual Buttons <https://library.vuforia.com/articles/Solution/How-To-Implement-Virtual-Buttons.html>

como eram, em vez de ver só ruínas ou em alguns casos a perda total do edifício ou objeto, tornando-se uma forma de preservação da cultura e património para as gerações futuras.

- Um dos primeiros trabalhos de Realidade Aumentada para visualização de uma reconstituição, reconstrução e representação de um espaço arqueológico foi o ARCHEOGUIDE (Augmented Reality-based Cultural *Heritage* On-site GUIDE), que pode ser visto na imagem seguinte (Figura 26) (Tsotros, 2002) e foi elaborado em 2002, utilizando um computador portátil e um sistema de HMD, que como já foi referido anteriormente foi a forma de transportar a RA para a forma *mobile*, só depois passou para os PDA e posteriormente para os *smartphones*.

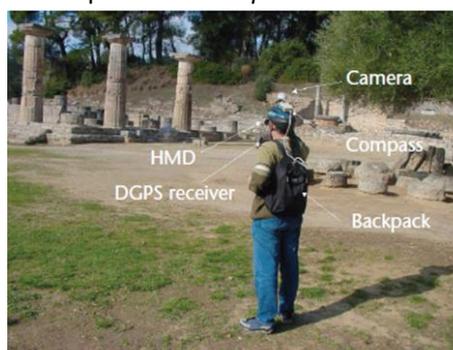


Figura 26 - Protótipo de RA aplicada ao *Digital Heritage*²⁶

No ARCHEOGUIDE, o utilizador podia estar no local real, navegar livremente pelo mundo e visualizar a reconstrução em 3D dos edifícios inexistentes que foram integrados no campo de visão do utilizador.



Figura 27 - Visualização de uma estrutura antes (a) e depois (b) da reconstrução 3D²⁶

Nas imagens a e b (Figura 27) é recriado o edifício que não existe, através de Realidade Aumentada, sobreposta sobre o mundo real. Posteriormente foi desenvolvido um sistema *mobile*, com recurso a um *Tablet* e PDA.

²⁶ ARCHEOGUIDE <https://doi.org/10.1109/MCG.2002.1028726>

- Arbela Layers Uncovered (ALU) (Mohammed-Amin, 2010), foi um estudo realizado em 2014 sobre a utilização desta tecnologia na cidade de Erbil, no Iraque, contendo informação em 3D, texto e imagens.

Tem um mapa da cidade para o utilizador se orientar com os pontos de interesse e a localização atual, como demonstra a seguinte imagem (Figura 28).

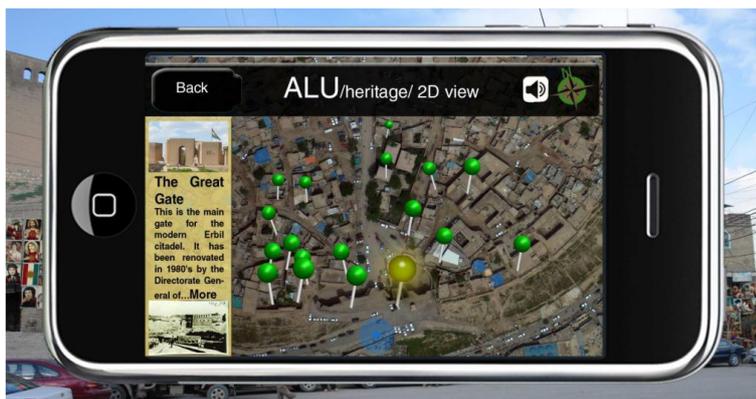


Figura 28 – Mapa da cidade em estudo da aplicação²⁷

A realidade aumentada é ativada em partes que existe o modelo 3D reconstruído (Figura 29). Esta aplicação visa proporcionar aos visitantes vastos recursos, todos na mesma aplicação sem necessitar de um guia turístico convencional em papel, ou de procurar informações sobre um determinado monumento, tendo também roteiros turísticos com vários pontos, informação da duração desse roteiro entre outras informações.



Figura 29 - Reconstituição de monumento com Realidade Aumentada²⁷

²⁷ Augmented Reality: A narrative layer for historic sites
<http://search.proquest.com/docview/926969939?accountid=41453>

No estudo também referem que poderia ter um jogo em RA para tornar a visita mais interessante e seguir também no sentido de educação para os utilizadores mais jovens (Mohammed-Amin, 2010).

- Um dos sistemas que existe atualmente é o AR-media (Inglobe Technologies S.r.l., 2017) que é um produto da empresa Inglobe Technologies S.r.l., uma empresa italiana que o principal foco é trabalhar com Realidade Aumentada, não só na reconstituição histórica e museus (Figura 30), mas também em arquitetura, engenharia, construção, *design*, marketing, medicina, entretenimento, entre outras.

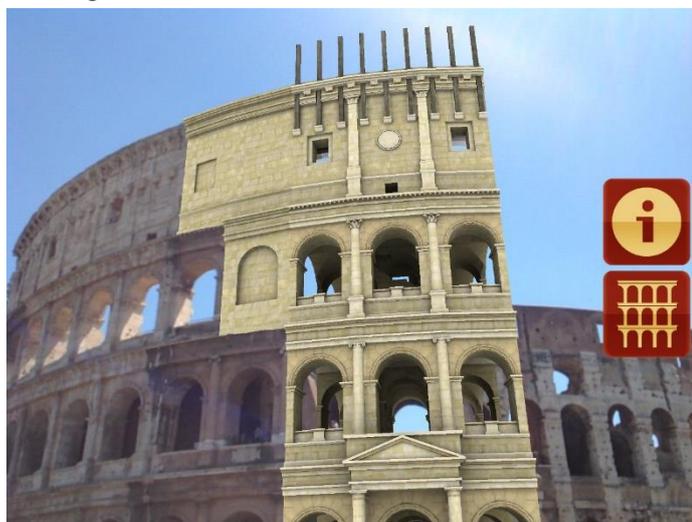


Figura 30 - Reconstituição em 3D do Coliseu em Roma²⁸

- Em Portugal existe a Rewind Cities Lisbon (Rewind Cities, 2015) que foi elaborada em 2014, com o apoio da Câmara Municipal de Lisboa, da Carris/Metro e da Samsung. Com esta aplicação é possível visualizar fotografias da cidade de Lisboa em modo de Realidade Aumentada, e ver como eram partes da cidade noutras épocas (Figura 31).

²⁸ AR- media <http://www.armedia.it/>



Figura 31 - Fotografia sobreposta ao mundo real com recurso a RA²⁹

2.4 Ferramentas 3D para a reconstituição digital

A reconstituição digital de edifícios ou objetos com valor histórico, deve ser realizada com o maior detalhe possível e, como referido anteriormente, obedecer aos princípios propostos pela Carta de Londres e Princípios de Sevilha. Para isso existem várias tecnologias para modelação 3D e que podem ser utilizadas para reconstituição.

Para modelação 3D e reconstituição existe uma vasta oferta de *software* da qual se destaca:

2.4.1 O SketchUp

O SketchUp (Trimble, 2017b) foi um projeto começado pela Last Software em 2000 que depois de terem colaborado com a Google para criarem um *plug-in* para o Google Earth em 2006 a Google adquiriu o SketchUp, e chamou-o Google SketchUp, que é uma ferramenta de nível inicial na aprendizagem na modelação 3D, contém uma interface simples, intuitiva e fácil de utilizar, é um programa bastante leve e de pequenas dimensões, a Google tornou-o num *software* gratuito. Esse mesmo projeto foi vendido à Trimble em 2012, continuando com uma versão gratuita para uso doméstico e pessoal e uma versão Pro para uso empresarial (Figura 32).

²⁹ Rewind Cities Lisbon

https://play.google.com/store/apps/details?id=pt.itpeople.rewindcitieslisbon&hl=pt_PT

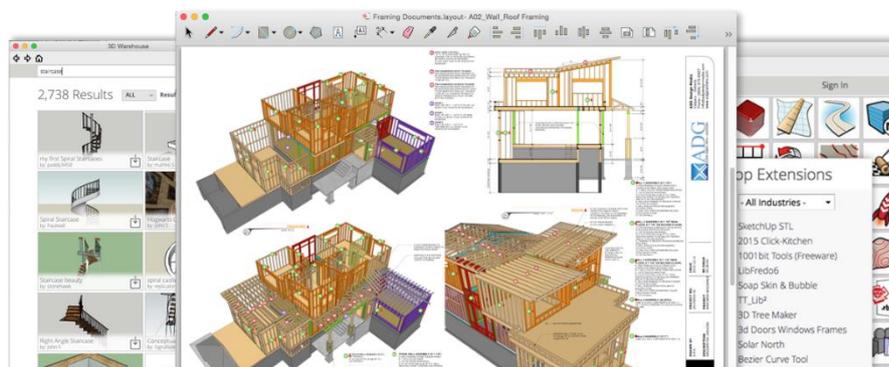


Figura 32 – SketchUp³⁰

Neste momento o SketchUp é uma ótima solução de modelação para arquitetura, construção, impressão 3D, *design*, e também para reconstituição 3D.

2.4.2 O Blender 3D

O Blender 3D (Blender.org, 2016) é um *software open-source*, concebido para modelação 3D, que é lecionado na disciplina de Complementos de Sistemas Gráficos, inserida no mestrado de Sistemas Gráficos e Multimédia do Instituto Superior de Engenharia do Porto. Com *add-ons* para modelação de arquitetura, vários sistemas de *rendering* com texturas de grande qualidade, contendo um sistema de escultura e de modificação de objetos com grande capacidade, que é uma das *features* mais uteis no caso de modelação de objetos com grande detalhe. O *add-on* para arquitetura Archimesh, permite a modelação de paredes, telhados, e muita outras partes relacionadas com arquitetura (Figura 33) contendo a possibilidade de fazer medidas dos modelos 3D para que estejam com as proporções corretas.



Figura 33 – Archimesh³¹

³⁰ SketchUp <https://www.sketchup.com/3Dfor/construction>

³¹ BlenderNation <https://www.blendernation.com/2015/07/10/archimesh-1-1-adds-flexible-editing/>

O sistema de *Sculpting* contém várias opções para escultura sendo o *Dynamic Topology Sculpting* o sistema mais interessante e importante pois podemos dividir o objeto 3D ao mesmo tempo que podemos esculpir conseguindo construir esculturas complexas começando apenas com um simples cubo, em vez do sistema normal de escultura só adicionava detalhe ao objeto inicial. A imagem seguinte é um exemplo do novo sistema (Figura 34).



Figura 34 - Escultura construída com o sistema Dynamic Topology Sculpting³²

É possível verificar nesta imagem que os materiais utilizados no *rendering* estão muito próximos da realidade com sistema de sombras que utiliza a linguagem *Open Shading Language* (OSL) funciona na perfeição.

2.4.3 O 3ds Max

O 3ds Max (Autodesk, 2017), que é desenvolvido pela Autodesk, empresa especializada em *software* de modelação 3D, CAD, *rendering* e efeitos de cinema. É um *software* profissional de modelação 3D, utilizado pelas grandes empresas cinematográficas, arquitetura e vídeo jogos. Na seguinte imagem pode ver-se um exemplo de *rendering* de um edifício (Figura 35).

³² Blender Wiki wiki.blender.org



Figura 35 - *Rendering* com o 3ds Max³³

É um *software* muito completo, mas também complexo de utilizar.

Com o sistema NURBS (*Non-Uniform Rational B-Splines*) que é um modo avançado para substituir os polígonos, normalmente utilizados na modelação 3D, esse mesmo sistema confere uma superfície suave do modelo. O NURBS é baseado em modelos matemáticos para representação de superfícies curvas, pode ser reproduzido em qualquer tamanho. Com o NURBS pode ser realizada a modelagem objetos com formas suaves sem que se notem os polígonos no final da modelação, como é visível na próxima imagem (Figura 36).

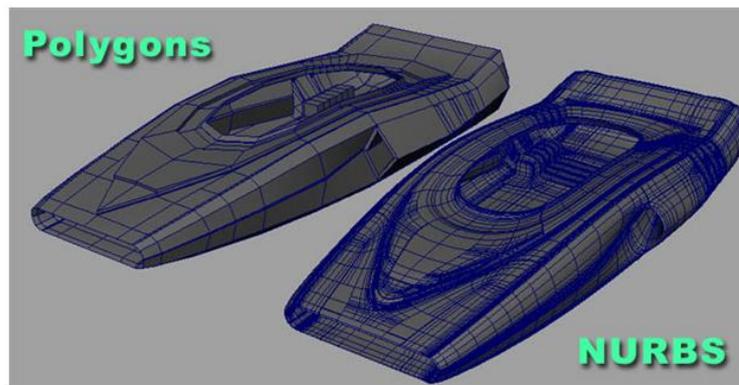


Figura 36 – Diferença entre NURBS e polígonos³⁴

2.4.4 O Autodesk 123D Catch / ReMake

O Autodesk 123D Catch (*mobile*) ou Autodesk ReMake (*desktop*) (Autodesk, 2015) também pertencem à Autodesk como o 3ds Max. Ambos são soluções para converter objetos reais (Figura 37), capturados com fotografias, digitalizações, *laser scans* ou *3D scans* em modelos 3D de alta definição. Estes modelos podem ser limpos, corrigidos, editados, medidos, e otimizados

³³ 3ds Max <https://www.autodesk.com/products/3ds-max/overview>

³⁴ 3D TutorialZone <http://www.3dtutorialzone.com/tutorial?id=67>

para fluxos de trabalho mais existentes. Tem como principal objetivo a criação de modelos 3D para AR / VR, filmes, jogos, arte, para arquivamento e preservação de patrimônio (*Digital Heritage*), impressão 3D, CNC, medicina ou experiências interativas na Web e dispositivos móveis.

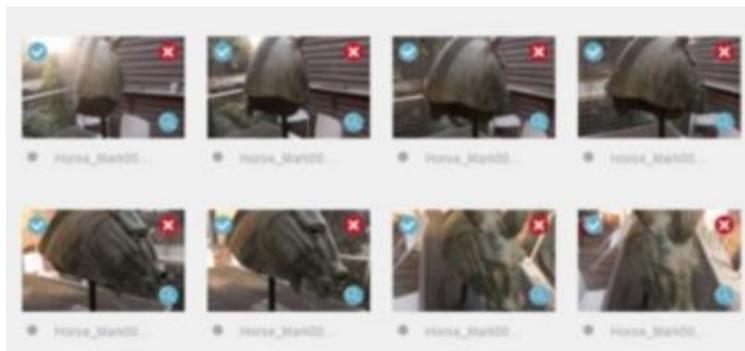


Figura 37 - Seleção de fotografias para o modelo 3D³⁵

O ReMake simplifica os processos complexos que são necessários para a modelação 3D, para que os utilizadores, mesmo que com pouca ou nenhuma experiência em modelação 3D, consigam obter resultados com uma qualidade tão alta que se assemelham a objetos reais. A modelação 3d está, assim, ao alcance de todos, através da utilização da câmara de um *smartphone* (objeto do quotidiano), permitindo digitalizar o mundo circundante, criando modelos 3D úteis, á imagem da realidade (Figura 38).



Figura 38 - Modelo 3D final³⁶

Com a utilização deste *software* a modelação 3D de objetos existentes é rápida, eficaz e detalhada com texturas incluídas.

2.5 Análise de valor

A aplicação terá como principal alvo tornar-se uma ferramenta útil para pedagogia e transmissão de conhecimentos para todos os que visitam a Sé do Porto, mas também, servirá

³⁵ Autodesk ReMake - YouTube channel <https://www.youtube.com/watch?v=XLYqdCubedA>

³⁶ Autodesk ReMake - YouTube channel <https://www.youtube.com/watch?v=XLYqdCubedA>

como um guia para perceber as alterações arquitetónicas no século XX efetuadas pela Direcção-Geral dos Edifícios e Monumentos Nacionais (DGEMN), permitindo aos seus utilizadores visualizarem em 3D e no local onde foram feitas essas alterações, tornando assim a aprendizagem mais imediata e interativa.

Esta aplicação poderá ser, também, utilizada para fins turísticos, sendo por exemplo incluída em roteiros turísticos pré-definidos.

2.5.1 Identificação de oportunidade

A aplicação a desenvolver terá como principal objetivo a pedagogia e transmissão de conhecimentos, com o intuito de ser utilizada pela Faculdade de Letras da Universidade do Porto (FLUP) nas disciplinas de História de Arte e servirá como um guia para perceber as alterações arquitetónicas no século XX efetuadas pela Direcção-Geral dos Edifícios e Monumentos Nacionais (DGEMN) (Instituto da Habitação e da Reabilitação Urbana, 2017), permitindo aos seus utilizadores verem em 3D e no local onde foram feitas essas alterações, tornando assim a aprendizagem imediata e interativa todos os que visitam a Sé do Porto.

Esta aplicação poderá ser inserida nos roteiros turísticos elaborados pela Câmara Municipal do Porto / Turismo de Portugal, estar disponível na Sé do Porto ou integrar a Rota das Catedrais, numa fase de protótipo. Para uma fase posterior seria uma mais-valia utilizar a aplicação em todas as catedrais que fazem parte da Rota das Catedrais, procedendo ao seu estudo, modelação 3D e inserção na aplicação dessa mesma informação, sem custos para o utilizador.

2.5.2 Análise de oportunidade

Segundo o relatório da Goldman Sachs de 13 de janeiro de 2016 (Bellini et al., 2016), a Realidade Virtual e a Realidade Aumentada têm o potencial de ser a próxima plataforma digital, com um investimento previsto até ao ano de 2025 de 35 biliões de dólares no *software* e de 45 no *hardware* que vai utilizar estas tecnologias (Figura 39). Com isto, o dia-a-dia dos utilizadores vai ser alterado, desde jogos de computador e consolas, entretenimento, comprar uma casa, educação ou ver um jogo de *football*, quer no uso profissional como na medicina, engenharia ou até na utilização militar.

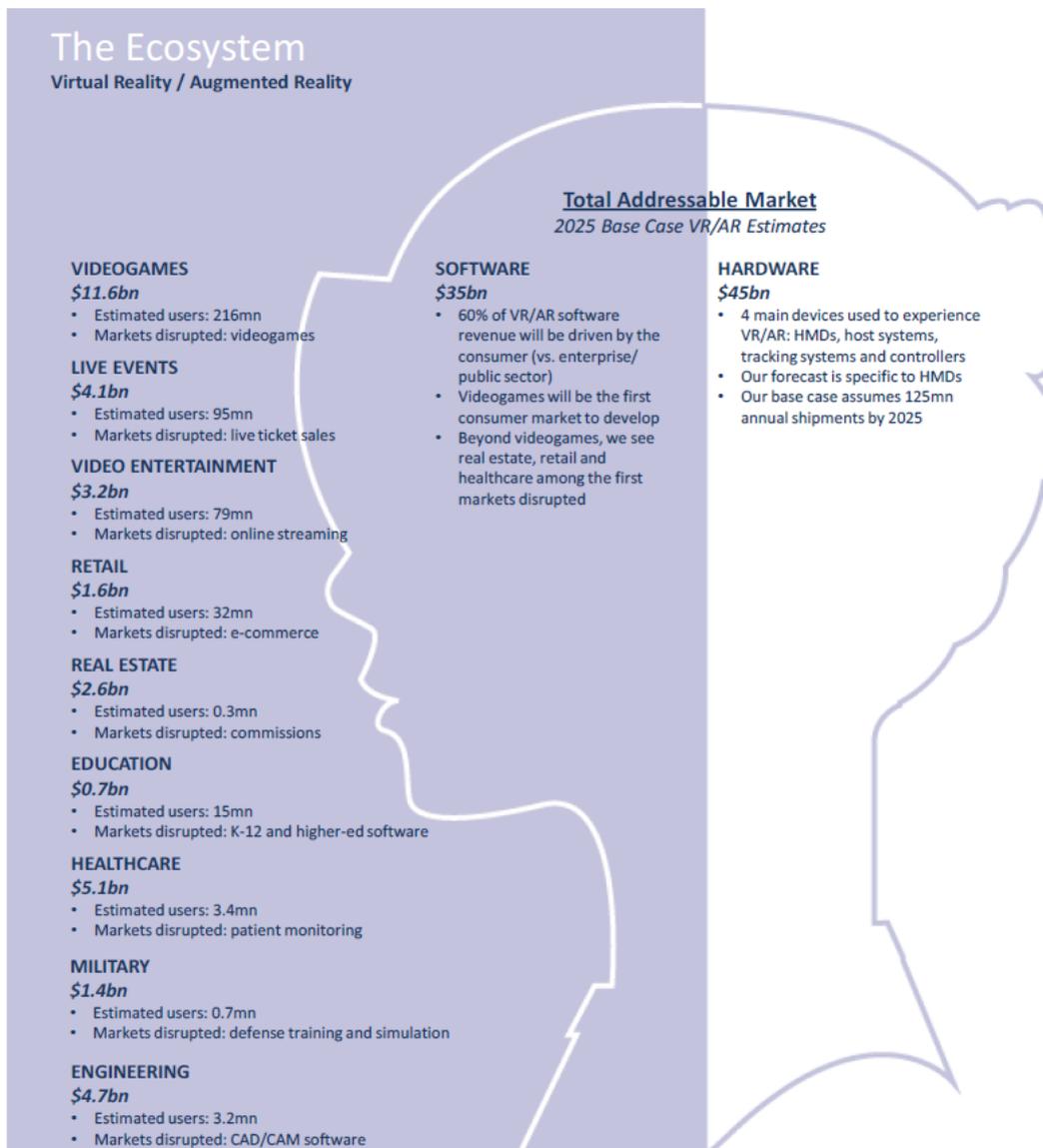
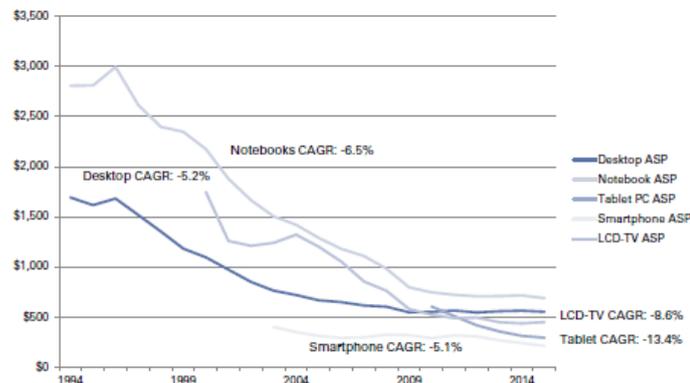


Figura 39 - Previsão de investimento em RV e RA³⁷

Como já foi referido anteriormente, os sistemas de *head mounted display* (HMD) lideram o início desta tecnologia, e estão outra vez em desenvolvimento com o Microsoft HoloLens, Google Glass, Magic Leap, entre outros que utilizam a tecnologia de RA. Com o decréscimo de preço dos dispositivos HMD previsto, a utilização de um *smartphone* porá vir a mudar num futuro próximo (Figura 40).

³⁷ Virtual & augmented reality: the next big computing platform? <http://www.goldmansachs.com/our-thinking/pages/virtual-and-augmented-reality-report.html>

Exhibit 6: HMD price declines could be similar to what we've seen in the past



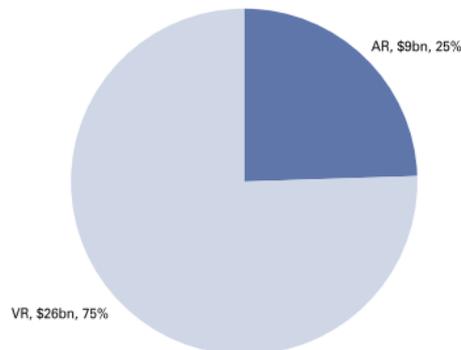
Source: Goldman Sachs Global Investment Research.

Figura 40 - Preço de um HMD nos últimos anos³⁸

Contudo, esses sistemas têm um preço elevado para o utilizador comum, e são, por isso, um nicho de mercado, neste momento.

Exhibit 15: Our 2025 software estimates by VR and AR

VR use cases driving 75% of our software estimate; as AR technology matures we expect more enterprise use cases to emerge



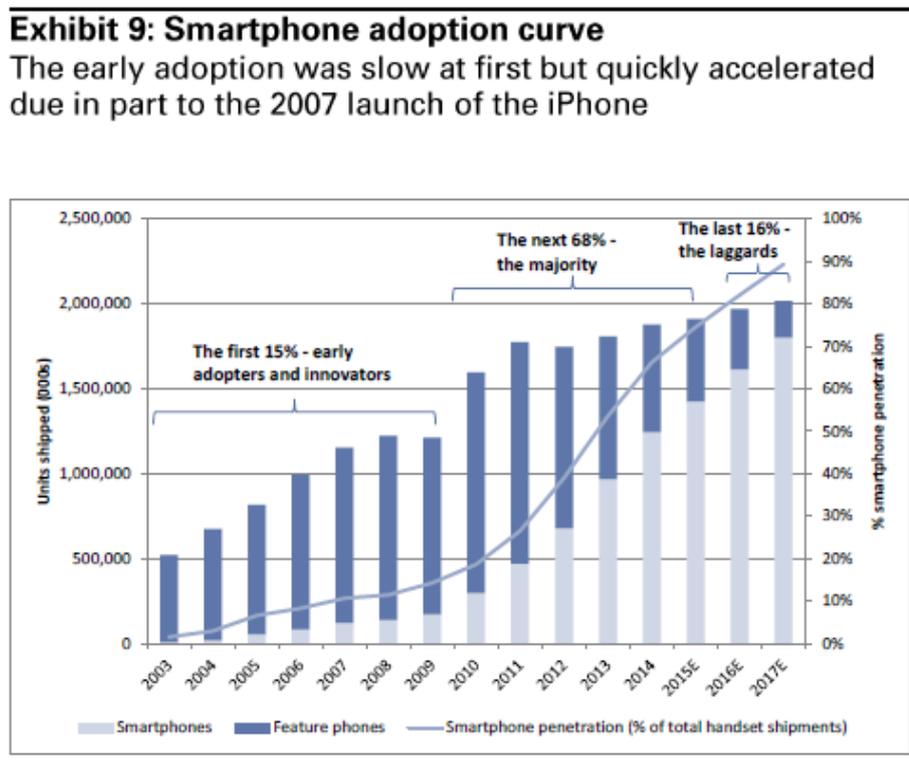
Source: Goldman Sachs Global Investment Research.

Figura 41 - Previsão de investimento em *software* para VR e AR até 2025³⁸

Pode observasse uma estimativa de crescimento maior da realidade virtual comparativamente com a realidade aumentada, pois não tem os mesmos problemas de crescimento que a realidade aumentada – processamento do mundo real, calibração do mundo real e do mundo virtual tudo no mesmo dispositivo, mas com os sistemas de HMD das grandes empresas de

³⁸ Virtual & augmented reality: the next big computing platform? <http://www.goldmansachs.com/our-thinking/pages/virtual-and-augmented-reality-report.html>

software e *hardware* a RA tem uma previsão de crescimento e investimento (Figura 41). A utilização da realidade aumentada em versão *mobile* com recurso aos *smartphones*, tem sido a resposta certa atualmente e num futuro próximo, pois, como já foi referido, neste momento tem quase o mesmo potencial em termos de computação que um computador portátil e o mercado tem aumentado exponencialmente, como é referido na próxima imagem (Figura 42).



Source: Goldman Sachs Global Investment Research, IDC

Figura 42 - Utilização de smartphones ao longo dos anos³⁹

Com o reconhecimento da cidade do Porto como melhor destino Europeu para visitar em 2017 (European Best Destinations, 2017) esta aplicação será uma mais-valia e uma ótima oportunidade, para turismo na Sé do Porto.

2.5.3 Seleção da Ideia

Ao constatar que não existia nenhuma aplicação do género no Porto, e a com a utilidade que esta ideia teria para a FLUP, em História de Arte e posteriormente para o turismo, surgiu a ideia de desenvolver uma aplicação para transmissão de conhecimento académico, e que servirá como protótipo para futuras implementações noutras áreas. Com isto, e ao contactar Maria Leonor Botelho, docente na FLUP em História de Arte, que apoiou e disponibilizou o seu

³⁹ Virtual & augmented reality: the next big computing platform? <http://www.goldmansachs.com/our-thinking/pages/virtual-and-augmented-reality-report.html>

conhecimento sobre a Sé do Porto para que esta ideia pode-se ser implementada. A utilização de Realidade Aumentada com recurso a modelos 3D surgiu como a melhor opção de transmitir conhecimento, com uma tecnologia apelativa e em crescimento.

2.5.3.1 Valor para o cliente

O valor pode ser definido em termos teóricos por posse, interesse, atitudes ou preferências, e segundo Lindgreen e Wynstra pode ter várias interpretações dependendo do cliente e indo ao encontro da definição de valor, pois cada cliente tem valores diferentes de interesse, atitude, preferência, utilidade do produto ou serviço e qualidade.

O valor para o cliente, segundo Woodall (Woodall, 2003), pode vir da percepção pessoal sobre um determinado produto, do afeto por uma determinada organização, da presença de algum benefício, do tempo que utiliza um determinado produto ou serviço, ou da conjugação de vários fatores.

Na Tabela 2 verifica-se a previsão dos benefícios e sacrifícios da aplicação que irá ser desenvolvida.

Tabela 2 - Benefícios e sacrifícios da aplicação

	Produto
Benefícios	<ol style="list-style-type: none">1. Transmissão de Conhecimentos2. Tecnologias Inovadoras3. Forma divertida de adquirir conhecimento4. Informação credível
Sacrifícios	<ol style="list-style-type: none">1. Utilização do smartphone durante a visita

2.5.3.2 Modelo de Negócio de Canvas

Na próxima tabela (Tabela 3) pode observar-se o modelo de negócio de Canvas onde está descrita a interação entre o cliente, o problema do cliente, a forma de solucionar esse problema através de um produto e a forma como esse produto tem rentabilidade financeira.

Tabela 3 - Modelo de Negócio Canvas

Parcerias Chave 1. Sé do Porto 2. FLUP 3. ISEP	Atividades Chave 1. Estudo da Sé do Porto 2. Modelação 3D 3. Desenvolvimento da aplicação 4. Fotografias para reconhecimento de imagem	Proposta de Valor 1. Transmissão de Conhecimentos 2. Tecnologias Inovadoras 3. Forma divertida de adquirir conhecimento 4. Informação credível	Relacionamento com o cliente 1. Sé do Porto 2. FLUP	Segmentos de Clientes 1. Estudantes da FLUP 2. Turismo do Porto 3. Qualquer utilizador interessado em história
	Recursos Chave 1. Know how 2. Fotografias para a modelação 3D 3. Acesso a várias partes da Sé do Porto 4. Informação histórica sobre a Sé do Porto 5. LAMU		Canais 1. Web 2. Sé do Porto 3. Turismo do Porto 4. Redes sociais 5. FLUP	
Custos 1. Levantamento de informação 2. Modelação 3D 3. Desenho da aplicação 4. Desenvolvimento da aplicação 5. Testes		Fontes de Receitas 1. Conhecimento 2. Protótipo para venda		

Com a aplicação, a transmissão de conhecimento será efetuada de uma forma mais apelativa e o conhecimento está sempre disponível para consulta. Com a utilização de Realidade Aumentada, como já foi referido anteriormente, vamos aumentar o mundo real e adicionar objetos e informação em tempo real á visita que estamos a fazer. Com o estudo que foi realizado sobre a Sé do Porto a informação que podemos dar, foi confirmada e avaliada, portanto é historicamente correta.

2.6 Resumo

Neste capítulo foi abordado todo o contexto e estado de arte.

Foi descrita a *Digital Heritage*, que é a forma digital de preservar o património para as próximas gerações, tanto o património existente e que está em risco como o inexistente e que é reconstruído digitalmente. Abordou-se a Carta de Londres e os Princípios de Sevilha, que definem os princípios para a utilização dos métodos e resultados da visualização computadorizada no campo da investigação e divulgação do património cultural. Foram analisados vários projetos já existentes: A Sé do Porto no século XII, Lisboa Pré-terramoto, Évora 3D, reconstituição do Castelo de Vimioso e Monforte de Rio Livre, os projetos de Maurizio Forte, um dos investigadores mais influentes nesta área, e de Hugh Denard, um dos fundadores da Carta de Londres.

Foi elaborado um estudo sobre a Sé do Porto com base no livro de Maria Leonor Botelho, "A Sé do Porto no século XX" (Botelho, 2006a), artigos científicos da mesma autora e o *website* do SIPA (Direção-Geral do Património Cultural, 2016), que contém informações, plantas, alçados, cortes, desenhos e fotografias da Sé do Porto em várias épocas.

Abordou-se a Realidade Aumentada, a sua definição e desenvolvimento ao longo do tempo e foram estudadas várias API e SDK para desenvolvimento de aplicações de RA, tais como: ARtoolKit, Wikitude SDK, Tango e Vuforia SDK.

Também em matéria de RA analisou-se alguns trabalhos já existentes:

1. ARCHEOGUIDE, que foi um dos primeiros trabalhos de reconstituição, reconstrução e representação de um espaço arqueológico através portátil e um sistema HMD em 2002.
2. *Arbela Layers Uncovered*, que foi um estudo teórico sobre o impacto que uma aplicação deste género teria se fosse aplicada na cidade de Erbil em 2010.
3. AR-media, que é um produto da empresa Inglobe Technologies S.r.l., uma empresa italiana que o principal foco é trabalhar com Realidade Aumentada, não só na reconstituição histórica e museus, mas também em arquitetura, engenharia, construção, *design*, marketing, medicina, entretenimento, entre outras.

4. Rewind Cities Lisbon, em Portugal, foi elaborada em 2014, com o apoio da Câmara Municipal de Lisboa, da Carris/Metro e da Samsung.

No caso dos edifícios com alguma relevância histórica, bem como de objetos com valor histórico, a reconstituição digital tem de ser realizada com o maior detalhe possível e, como referido anteriormente, obedecer aos princípios propostos pela Carta de Londres e Princípios de Sevilha, nomeadamente ao nível da verosimilidade das fontes e do processo de documentação do processo de criação dos modelos. Para isso foram estudadas e avaliadas várias tecnologias para modelação 3D e que podem ser utilizadas para reconstituição nomeadamente: SketchUp, Blender 3D, 3DS Max e Autodesk 123D Catch (*mobile*) ou Autodesk ReMake (*desktop*).

Ainda neste capítulo foi elaborada a análise de valor, com a análise do documento da Goldman Sachs sobre AR e VR e o investimento previsto nesta área até 2025.

3 Implementação

Neste capítulo será abordada a análise e o design da solução proposta com uma breve explicação da ideia de funcionamento da aplicação assim como os requisitos funcionais e não funcionais. Expor-se-á o caso de uso da aplicação e as várias possibilidades de ação dadas ao utilizador.

Serão apresentadas as tecnologias e aplicações de desenvolvimento e as razões que levaram a essa escolha, com vários diagramas da arquitetura de sistema.

A implementação e desenvolvimento da solução, será descrita, desde o sistema de reconhecimento através de imagens, abordada toda a modelação 3D, com alguns dos processos mais detalhados e toda a documentação necessária, como sugere a Carta de Londres e Princípios de Sevilha, como fotografias referência, plantas, desenhos e decisões efetuadas na modelação.

Todos os testes efetuados na aplicação, serão apresentados, assim como o posicionamento dos modelos 3D com base nas fotografias que foram adquiridas.

São, também, exibidos os testes que foram efetuados com texturas e o tipo de texturas que foram aplicadas, assim como os mapas com os pontos que têm a possibilidade de ser “aumentados”, assinalados nas plantas da Sé do Porto.

Ainda neste capítulo existe uma secção relativa à impressão 3D, na qual se descreve o processo de transformação das partes modeladas em objetos reais; encontra-se, também, uma breve explicação sobre o funcionamento da impressora utilizada e os vários passos necessários para concluir uma impressão.

3.1 Análise e *Design* da solução

Foi feita a análise e o design da solução proposta com uma breve explicação da ideia de funcionamento da aplicação assim como os requisitos funcionais e não funcionais. Temos os Casos de Uso da aplicação e as várias ações que o utilizador tem.

Foram apresentadas as tecnologias e aplicações de desenvolvimento e as razões que levaram a essa escolha. Com vários diagramas da arquitetura de sistema.

3.1.1 Conceito da aplicação

A aplicação teve como principal objetivo a pedagogia e transmissão de conhecimentos, com o intuito de ser utilizada pela Faculdade de Letras da Universidade do Porto (FLUP) nas disciplinas de História de Arte e servirá como um guia para perceber as alterações arquitetónicas no século XX efetuadas na Sé do Porto pela Direcção-Geral dos Edifícios e Monumentos Nacionais (DGEMN) (Instituto da Habitação e da Reabilitação Urbana, 2017), permitindo aos seus utilizadores verem em 3D e no local onde foram feitas essas alterações, tornando assim a aprendizagem imediata e interativa para todos os que visitam aquele monumento.

A aplicação esta dividida em várias partes: um mapa para que se tenha a perceção do local onde de encontram os pontos com RA, as reconstituições digitais disponíveis para que se possam visualizar em vários ângulos e distâncias, reconhecimento de imagem com os modelos 3D no local onde existiam anteriormente.

Para desenvolver a aplicação foi utilizada como ferramenta o Unity 3D com o Vuforia SDK para Realidade Aumentada, que já foi abordado anteriormente.

A reconstituição digital foi feita através do Blender 3D, pois foi lecionado no Mestrado de Sistemas Gráficos e Multimédia, e é também uma ótima ferramenta para modelação 3D e com uma componente para modelação de arquitetura. De forma a ter uma orientação e para garantir que os modelos 3D têm rigor histórico, será utilizado como base para fazer a modelação, imagens, pinturas, alçados e plantas da Sé do Porto antes de ter sido intervencionada pela DGEMN, que se encontram no website do SIPA.

Foi também utilizado o Autodesk ReMake para reconstruir os altares que foram retirados da Sé; através das várias fotografias recolhidas pode obter-se um modelo 3D editável.

3.1.2 Requisitos

Os requisitos de software definem o funcionamento do sistema e criar um conjunto de regras para que o sistema realize as tarefas necessárias para que seja demonstrado o funcionamento da ideia inicial proposta nesta dissertação. Juntamente com o cliente procedemos ao levantamento de requisitos funcionais e não funcionais, com o objetivo de delinear, planear e explorar as funções do sistema.

3.1.2.1 Requisitos funcionais

Por norma, os requisitos funcionais descrevem explicitamente as funcionalidades e serviços do sistema, nomeadamente:

- Descreve e documenta como o sistema deve reagir a determinadas entradas específicas;
- Identifica como se deve comportar em determinadas situações;
- Identifica também o que o sistema não deve fazer;

Para desenvolver esta solução é necessário definir os requisitos funcionais que fazem parte do processo de recolha de informação para que a aplicação seja desenvolvida.

- **Modelos 3D:** A aplicação deve ter os modelos 3D das várias partes reconstruídas e disponíveis para visualização.
- **Sistema de Realidade Aumentada:** Na aplicação o sistema de Realidade Aumentada deve estar a funcionar em pleno, quer no interior quer no exterior do edifício.
- **Aquisição de conhecimento:** Um dos principais objetivos da aplicação é a transmissão de conhecimento sobre a Sé e a sua história no século XX, de forma interativa.
- **Funcionamento *offline*:** A aplicação deve funcionar em modo *offline*, não sendo necessário que o utilizador esteja a utilizar dados móveis.
- **Mapa com os pontos de interesse:** Conter a planta da Sé do Porto com os locais que podem ser aumentados.

3.1.2.2 Requisitos não funcionais

Geralmente para que uma aplicação tenha qualidade necessitamos de padrões que, neste caso, são definidos pelos requisitos não funcionais. Seguem-se os requisitos não funcionais para a aplicação que será desenvolvida:

- **Desempenho:** A aplicação deve funcionar fluentemente e de forma eficiente, sem que exista uma resposta morosa aquando da utilização da Realidade Aumentada.
- **Interface intuitiva:** A interface da aplicação deve estar em Português e em Inglês, deve ser o mais intuitiva possível, e que esteja nas dimensões adequadas para que não interfira com a visualização dos modelos 3D.
- **Informação:** Toda a informação deve ser fidedigna e com fundamento histórico, os modelos 3D devem estar corretamente posicionados e no local correto.

3.1.3 Diagrama de Caso de uso

O caso de uso, fazendo parte de um diagrama de UML, tem o objetivo de representar a interação entre o utilizador e o sistema, com os atores intervenientes e os vários casos de uso, ações que o utilizador pode realizar no sistema proposto.

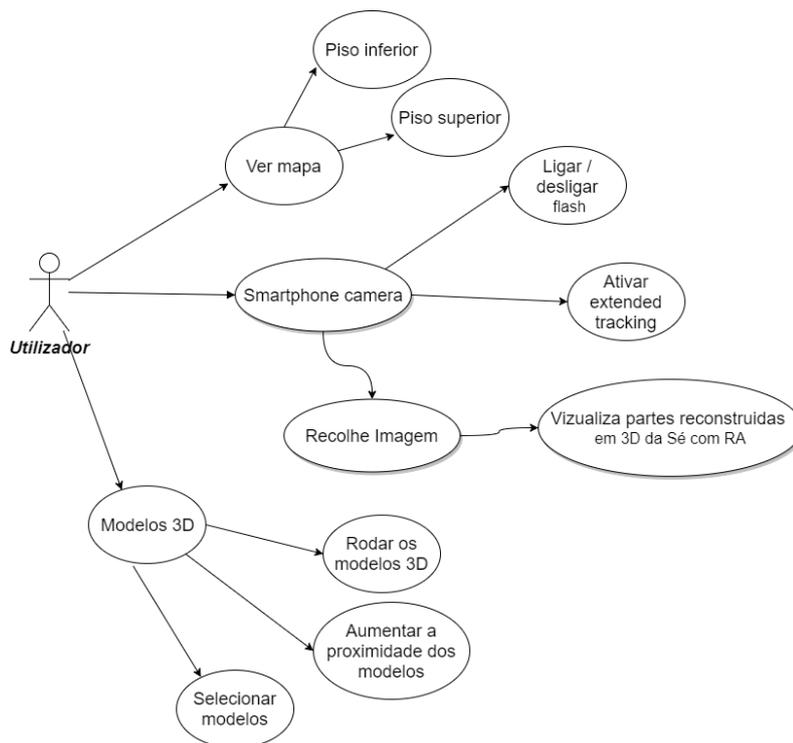


Figura 43 – Caso de uso do protótipo

Neste caso de uso na Figura 43, estão expostas as ações que o utilizador pode realizar com a aplicação, estando divididos por vários módulos, nomeadamente Mapa, Modelos 3D e Realidade Aumentada. No módulo de RA existe um menu em que é possível interagir com a opções da câmara ligar / desligar *flash*, seleção da câmara traseira ou frontal, ativar o *extended tracking*, seleção do módulo de modelos 3D, mapa com os pontos de RA e informações sobre o funcionamento da aplicação.

3.1.4 Arquitetura do sistema

A arquitetura de sistema define todos os componentes de *software*, como se relacionam entre si e com *software* externo, assim como no caso deste sistema em particular que também tem acesso ao *hardware*, câmara do dispositivo móvel, para aquisição de imagem uma peça fundamental neste sistema. Também define as ligações à base de dados, quer sejam locais ou *online*.

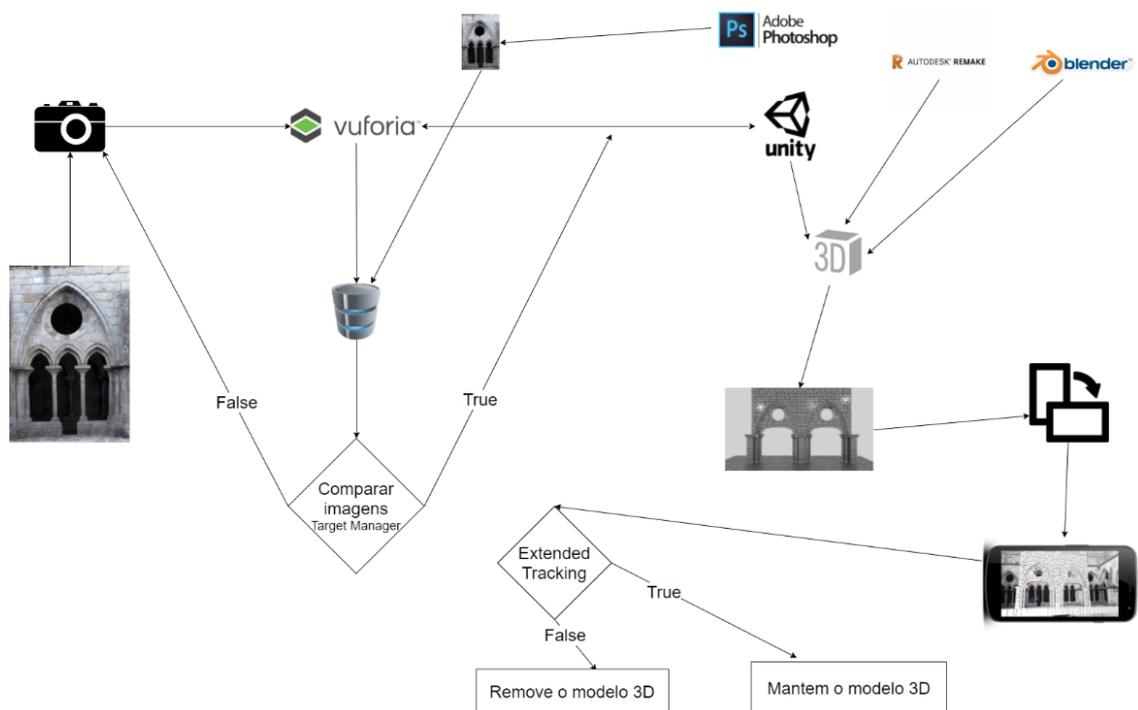


Figura 44 - Arquitetura geral do sistema

A arquitetura do sistema como é demonstrado na Figura 44, tem como principal foco o Vuforia SDK que, como foi analisado anteriormente, cumpre os requisitos de desenvolvimento para que uma aplicação de Realidade Aumentada seja desenvolvida com apoio desse mesmo SDK, tornando todo o desenvolvimento da aplicação de RA simplificado.

Serão adicionadas classes externas ao SDK para que os modelos sejam interativos, tais como rotação e *zoom*, através de gestos no ecrã do smartphone, para que a interface seja mais intuitiva, como demonstra a Figura 45, e utilizando a capacidade dos ecrãs multi-toque para a realização do *zoom* e *unzoom*, com *pinch* para *zoom* e *unpinch* para *unzoom*.

Para rotação procede-se a um toque longo no ecrã e rotação para o sentido pretendido e o modelo 3D irá ser rodado nesse sentido suavemente.

As interfaces para visualização dos objetos e mapa também serão adicionadas no motor gráfico Unity 3D.

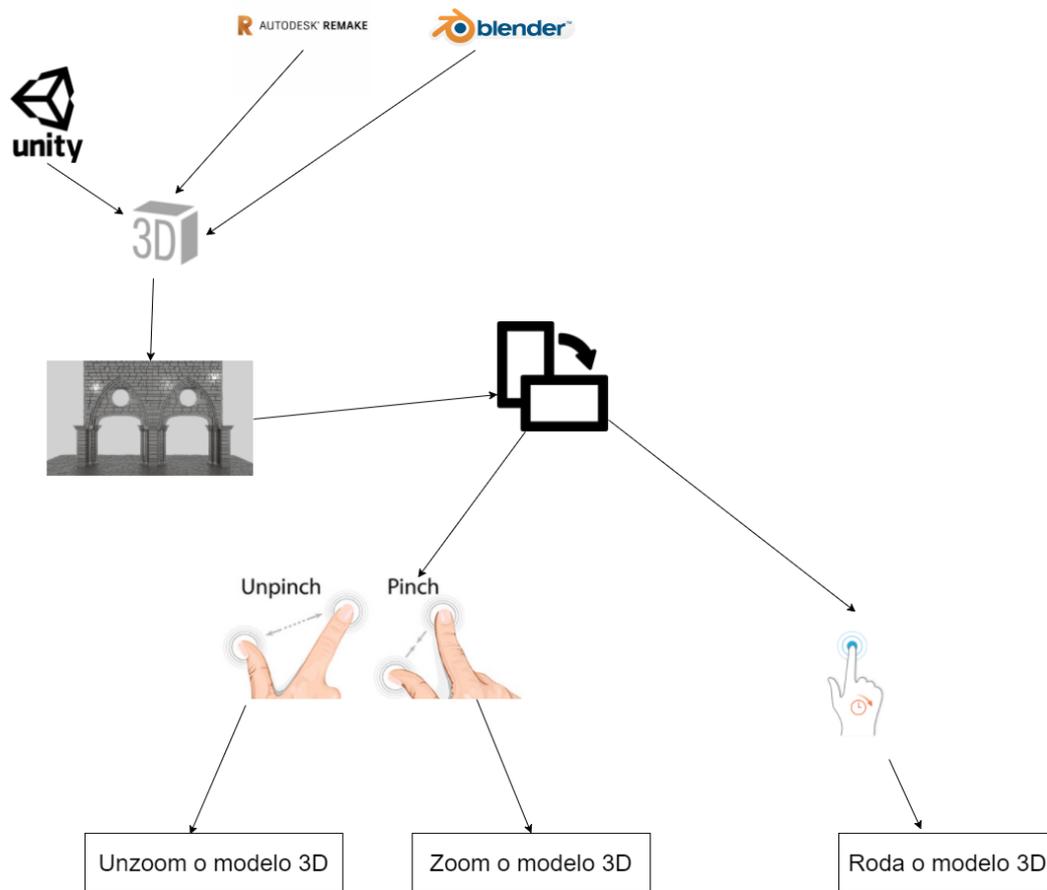


Figura 45 - Visualização dos modelos 3D

3.2 Realidade Aumentada

Como foi referido anteriormente, a realidade aumentada é a tecnologia que permite juntar o mundo virtual com o mundo real é um dos componentes com mais importância e a essência desta aplicação móvel. Para isso foram estudadas várias *API* para desenvolvimento de aplicações de RA, mas a escolha recaiu no Vuforia SDK com recurso ao Unity 3D como motor de desenvolvimento.

Para que a Realidade Aumentada funcione em pleno, é necessária a existência de imagens de reconhecimento com a melhor qualidade possível e com um contraste elevado para que sejam classificadas e seja possível um reconhecimento rápido e preciso.

 S1360657	Single Image	★★★★★
 S1360708	Single Image	★★★★★
 S1360684	Single Image	★★★★★
 IMG_20170507_155852	Single Image	★★★★★
 S1360695	Single Image	★★★★★
 S1360703	Single Image	★★★★★
 S1360647	Single Image	★★★★★
 S1360643	Single Image	★★★★★
 S1360622	Single Image	★★★★★
 S1360704	Single Image	★★★★★
 S1360726	Single Image	★★★★★
 S1360733	Single Image	★★★★★

Figura 46 - Classificação das imagens com o sistema de estrelas

Esse reconhecimento é feito através da análise do contraste baseado nas “*features*” de cada imagem, que posteriormente serão reconhecidas pela câmara do smartphone quando a aplicação estiver a correr. Na plataforma *online* do Vuforia o *Target Manager* tem a base de dados com as imagens que se pretende que sejam reconhecidas. Cada imagem é classificada por um sistema de estrelas de zero a cinco (Figura 46).

Para ter melhores resultados, é conveniente utilizar imagens com quatro ou cinco estrelas; além disso, as imagens devem cumprir vários atributos como descreve a Tabela 4 e segundo a documentação do Vuforia SDK:

Tabela 4 – Atributos para imagens

Atributo	Descrição
Detalhe da imagem	Cenário de uma rua, grupo de pessoas, colagens e misturas de imagens, ou desporto.
Bom contraste	Ter regiões brilhantes e sombrias estar bem iluminado e não estar apagado em brilho ou cor.
Não ter padrões repetitivos	Uma fachada de uma casa com janelas idênticas, e padrões regulares. Não são boas opções.
Formato	Deve ser de PNG ou JPG de 8 ou 24 bits; Menos de 2 MB de tamanho; Os JPG devem ser RGB ou escala de cinza (sem CMYK).

Cada imagem tem várias *features*, como foi descrito acima; essas *features* são os pontos em que cada imagem tem a capacidade de ser detetada e seguida. Se uma imagem tem muitos pontos dispersos e estão dispersos por toda a imagem são uma mais-valia para o funcionamento da aplicação, como demonstra a Figura 47.

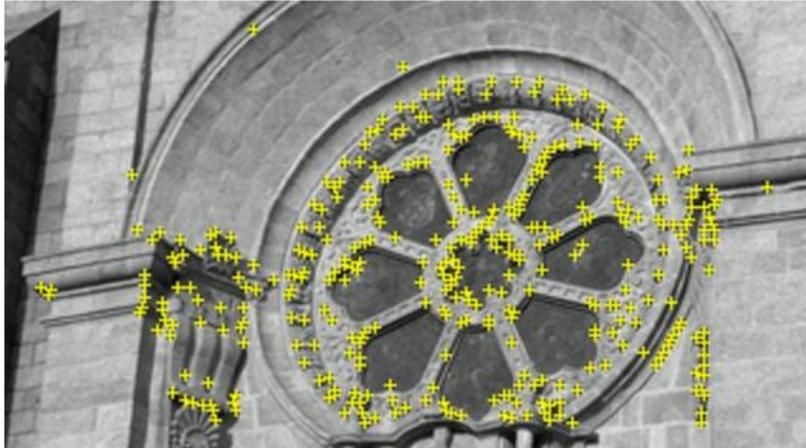


Figura 47 - Imagem com as *features* ativas

A luz desempenha um ponto importante no reconhecimento de imagem, se existir pouca luz, ou uma mudança de luz em relação à imagem que temos para reconhecimento, esse reconhecimento não será efetuado. Irá abordar-se essa questão posteriormente, quando for testada a aplicação no interior da igreja da Sé do Porto.

Todas as imagens utilizadas foram sendo melhoradas, com vários testes que foram efetuados na Sé do Porto; tanto a nível de ângulo de fotografia, como o seu contraste foi refinado para que se obtivesse o maior número de *features* possível.

3.3 Reconstituição digital (modelação 3D)

Para que se faça a reconstituição de edifícios digitalmente, a Carta de Londres (London Charter.org, 2009), que está disponível através do *website* oficial LondonCharter.org⁴⁰ em várias línguas, define os princípios para a utilização dos métodos e resultados da visualização computadorizada no campo da investigação e divulgação do património cultural.

Para isso, e como foi referido no capítulo do estado de arte, necessitamos de ter fontes credíveis, como fotografias ou desenhos da época que nos permitam realizar uma leitura comparada de diversos dados, para podermos proceder a uma reconstituição digital cientificamente válida. De seguida e como refere a Carta de Londres vamos documentar todo o processo, metodologia utilizada e referencias para a criação dos vários modelos 3D.

Como é possível visualizar na reconstituição da empena barroca entre as torres, foi utilizado o desenho como referência (Figura 48), da autoria de A. Machado, pois era o que melhor se adequava; mesmo sendo um desenho, era o mais coincidente com as fotografias existentes, pois só existem panorâmicas e a uma distância considerável, o que inviabilizava a reconstituição através de fotografias.

⁴⁰ http://www.londoncharter.org/fileadmin/templates/main/docs/london_charter_2_1_pt.pdf

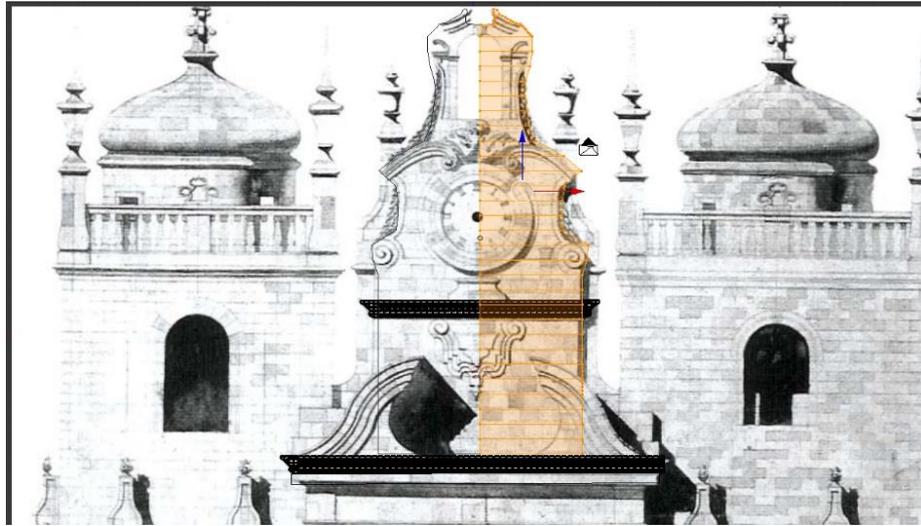


Figura 48 - Início da modelação 3D em Blender 3D

Na imagem acima (Figura 48), no início da reconstituição digital, existe uma malha de polígonos, que foi editada e modelada com base no desenho. Posteriormente, é possível observar um *rendering* dessa mesma malha (Figura 49).

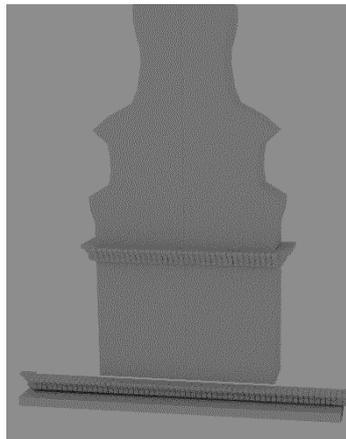


Figura 49 - Modelação inicial da empena barroca

Já numa versão final (Figura 50) é apresentada a parte de trás da empena, a que se adossava a chamada “casa do sineiro” e que foi reconstruída com base em fotografias da época. Com o *plugin* para arquitetura que integra o Blender 3D, *Achmech*, existe a possibilidade de adicionar paredes, janelas, telhados e outros elementos de arquitetura, tornando assim o desenho de arquitetura geométrica muito simplificado e com um rigor elevado. Este *plugin* está desenvolvido em *Python* e sendo *open-source* como todo o Blender pode ser alterado para que se obtenha ainda mais funções ou se altere as existentes.



Figura 50 - *Rendering* final da empena e "casa do sineiro"

Na Figura 51 é possível observar a fotografia da época e o *rendering* da reconstituição digital.



Figura 51 - Fotografia da época e modelo 3D lado-a-lado

Uma das reconstituições que também teve um grande impacto na imagem da Sé do Porto foi a substituição dos dois arcos abatidos que se rasgavam na ala norte do claustro gótico. Para isso foi necessário proceder a uma edição de imagem, pois as imagens de que se dispunha para o presente estudo tinham ângulos que não permitiam fazer a reconstituição de forma correta (Figura 52).



Figura 52 – Fotografias que retratam as intervenções nos arcos e o seu estado inicial

A junção destas duas imagens e a sua edição possibilitou a obtenção do arco numa perspetiva frontal (Figura 53).



Figura 53 – Fotomontagem do arco abatido

A modelação deste arco foi efetuada em vários passos, mais uma vez utilizando os *plugins* disponíveis no Blender 3D, neste caso o *Wall Factory*. Este *plugin* possibilita a criação de paredes medievais através da construção de blocos de pedra, também permite a criação de arcos e aberturas nas paredes, facilitando o desenho no caso de arcos redondos. Para se obter a forma de um arco abatido é já necessário fazer edição. Para conceber o óculo da empena da arquivolta foi essencial recorrer a dois círculos. Com a opção de *knife project* é possível utilizar esses círculos e recortar na parede criada anteriormente, como pode ser observado na imagem seguinte (Figura 54).

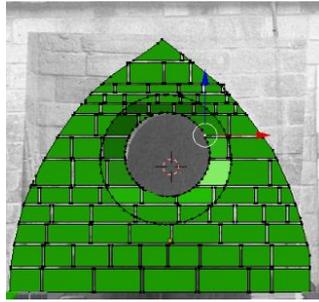


Figura 54 - Malha 3D com o óculo central

É possível observar ver a produção final e as fotografias disponíveis destes mesmos arcos na Figura 55.



Figura 55 - Fotografia da época e modelo 3D lado-a-lado

No interior da igreja, foi modelado o batistério, os pilares que delimitam os tramos das três naves e um dos 7 altares que foi removido da Sé do Porto.

Para modelar o batistério e a janela que o encimava, foi necessário utilizar um círculo, para ficar proporcional, fazer várias alterações a esse círculo, multiplicados através do *modifier Array* quatro vezes, com uma rotação de noventa graus para formar a janela em torno do centro (Figura 56).

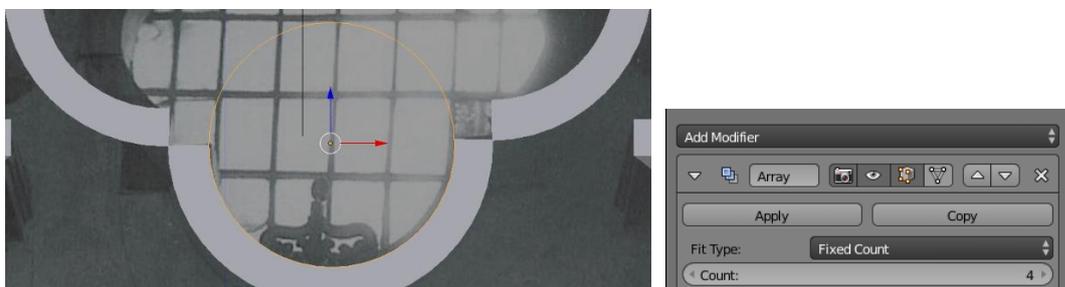


Figura 56 - Modelação da janela e modificações

O desenho das pilastras laterais à porta foi iniciado com o recurso a cubo e foram feitos vários *extrude* e *scale*, até se obter as pilastras laterais. A empena foi criada através da sobreposição da imagem como guia e modelação ponto-a-ponto. Na seguinte imagem pode ver-se a produção final (Figura 57).



Figura 57 - Fotografia da época e modelo 3D lado-a-lado

Para os pilares centrais que delimitam os tramos das três naves foi utilizada uma das únicas fotografias que existe como referência (Figura 58).



Figura 58 - Pilares centrais antes das intervenções

No topo dos pilares existiam colunas coríntias e, devido à sua complexidade, foi necessário optar por outra abordagem e utilizar *software* de modelação, que através de um conjunto de fotografias gera um modelo 3D que, depois de gerado, pode ser exportado, editado e utilizado na aplicação. O *software* em causa é o *Autodesk ReMake*, que já foi abordado no capítulo de estado de arte e referido como um *software* a utilizar no desenvolvimento (Figura 59).

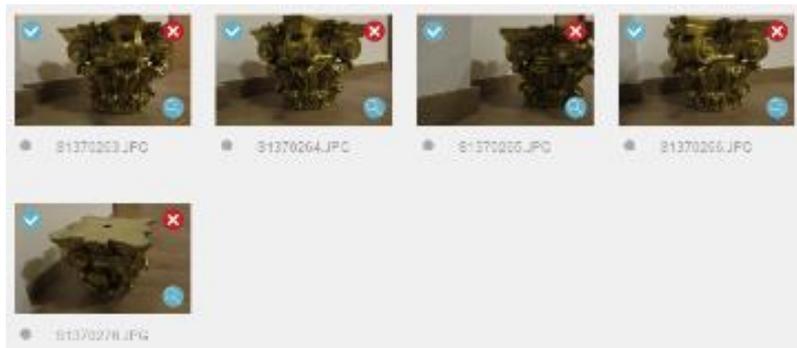


Figura 59 - Autodesk ReMake imagens para modelação automática

Foram seleccionadas as fotografias e o modelo foi gerado automaticamente (Figura 60).



Figura 60 - Modelo 3D gerado pelo Autodesk ReMake

O desenho do capitel da coluna foi feito a partir de um da igreja Paroquial de S. Tiago de Bougado (Trofa) que foi fotografada para o efeito. A escolha recaiu sobre esta peça pelo facto de ser da mesma época daqueles que existiam na Sé do Porto e em tudo idênticos aos reproduzidos nas fotografias da época.

Na seguinte imagem pode observar-se a reconstituição dos pilares da igreja e a fotografia original (Figura 61).



Figura 61 - Fotografia da época e modelo 3D lado-a-lado

Na reconstituição do claustro superior começou-se pelos janelões barrocos da nave central. Devido á inexistência de imagens frontais optou-se pelo desenho de um esboço desses mesmos janelões (Figura 62).

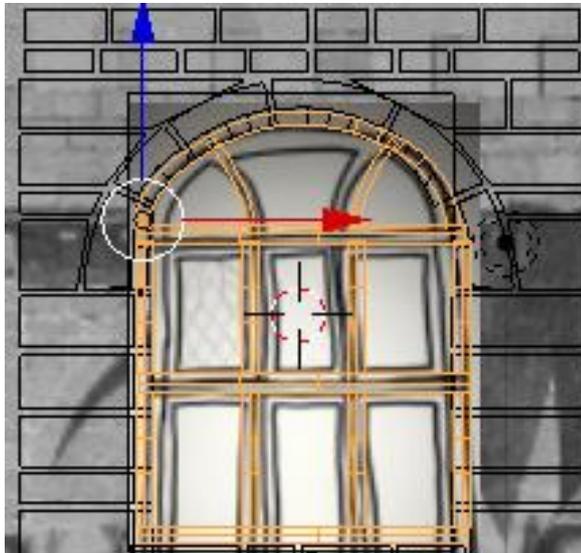


Figura 62 - Esboço dos janelões barrocos

A janela das naves laterais é a mesma que foi desenhada para o batistério. Toda a estrutura, incluindo o arco da janela, foi desenhada com o *plugin Wall Factory* de construção de paredes medievais com blocos.

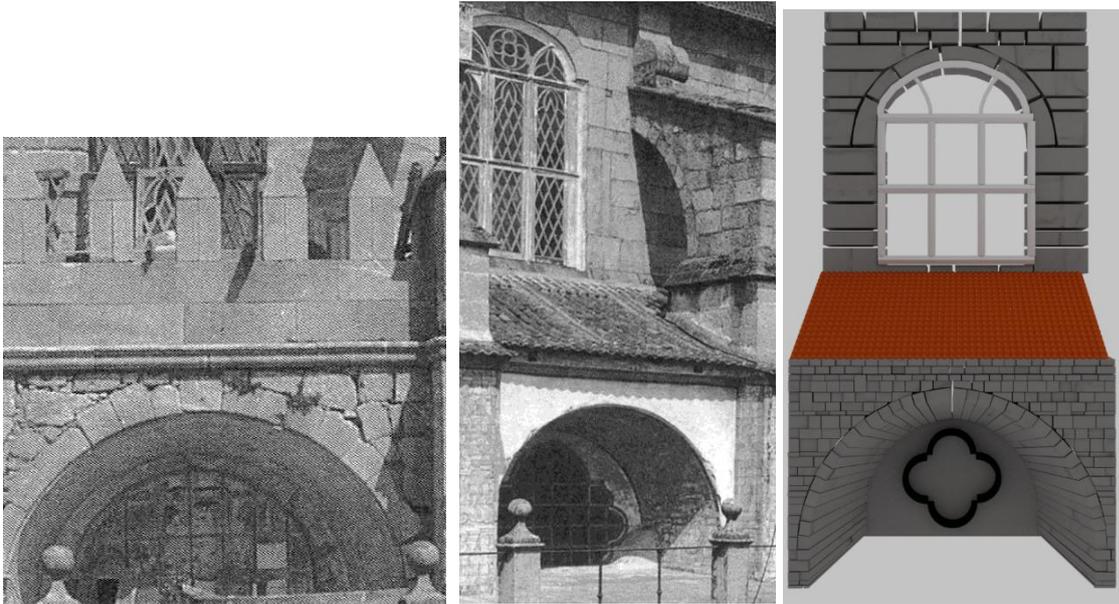


Figura 63 - Fotografias da época e modelo 3D lado-a-lado

Nas imagens acima está apresentado o *rendering* da reconstrução e as imagens que serviram de referência para o arco inferior e para o posicionamento do telhado (Figura 63).

Também no claustro gótico superior existia um alpendre em madeira de três alas (Figura 64) que foi removido na década de trinta do século XX. A modelação desta secção foi iniciada pelas colunas e, seguindo-se o telhado.



Figura 64 - Alpendre visto da parte inferior do claustro gótico

Posteriormente, foram adicionadas as vigas e travessas de suporte ao telhado, bem como o seu revestimento interior em madeira (teto de masseira), que foi baseado na planta de outros idênticos da Casa do Cabido da Sé do Porto e concebidos na mesma época (Figura 65).

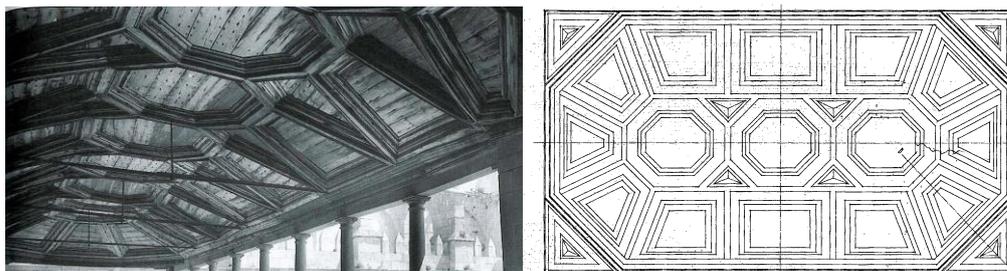


Figura 65 - Teto de masseira do alpendre e planta existente

Na imagem seguinte pode ver-se o *rendering* final da reconstituição do alpendre (Figura 66).



Figura 66 - *Rendering* final do alpendre com o teto de masseira

Por fim, em matéria de modelação 3D, são apresentados dois dos altares que foram removidos da Sé do Porto e transportados para a paróquia de Sta. Maria de Lamas em Sta. Maria da Feira.

Para a modelação destes altares foi utilizado o Autodesk ReMake; no altar do Coração de Jesus foram conseguidas quarenta e duas fotografias, para que a qualidade do modelo 3D fosse a melhor possível. No altar de Nossa Senhora da Assunção foram conseguidas apenas quinze pois a sua envolvência estava em remodelação e não nos foi possível obter mais fotografias (Figura 67).



Figura 67 - Altares em 3D modelados com o Autodesk ReMake

É possível observar a diferença na qualidade dos modelos 3D e que o número de fotografias utilizadas tem muito impacto no produto final, ficando um modelo incompleto e inútil se não forem utilizadas um grande número de imagens.

3.4 Aplicação móvel

No desenvolvimento da aplicação após a inserção das imagens de reconhecimento no *Target Manager*, recebe-se a base de dados com essas mesmas imagens que, posteriormente, é integrada no Unity 3D. Com isto pode juntar-se os modelos 3D à aplicação de realidade aumentada, e começar a testar juntamente com o SDK Vuforia (Figura 68).

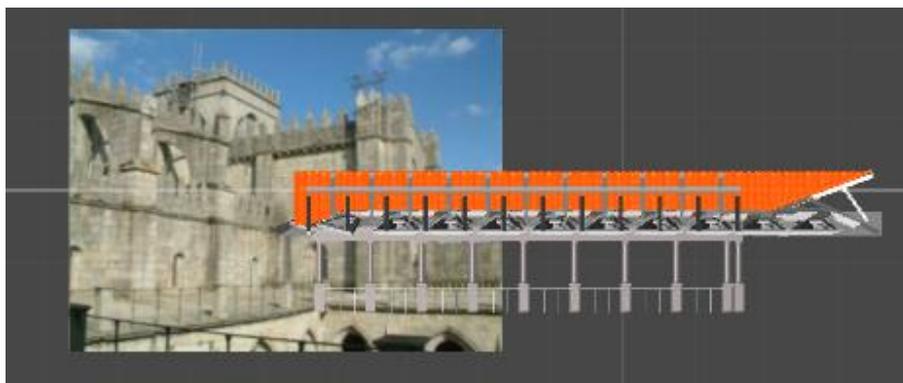


Figura 68 - Interface de RA no Unity 3D

Os primeiros testes realizados ao sistema foram efetuados com recurso a fotografias para que não fosse necessárias deslocações à Sé do Porto regularmente, e uma planta da Sé do Porto, com base nas imagens disponíveis no SIPA (Figura 69).



Figura 69 - Primeiros testes ao sistema de RA

A planta foi bastante útil para que a correta posição dos modelos 3D nos locais respetivos como mostra a imagem seguinte (Figura 70).

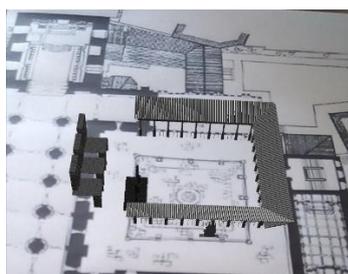


Figura 70 - Planta da Sé do Porto com os modelos 3D em RA

À medida que os vários modelos 3D iam avançando, procedeu-se a novos testes e à sua colocação no local correto, ainda com recurso a fotografias que foram disponibilizadas, como é possível comprovar pela Figura 71.



Figura 71 - Primeiros testes ao sistema de RA

Posteriormente, com uma visita à Sé do Porto, procede-se à recolha de novas imagens e testes no local para aferir o funcionamento da aplicação no interior e exterior do edifício.

Através da recolha destas novas imagens, com o seu tratamento em termos de contraste, seleção da zona em que se obteve mais *features* e com os testes que foram efetuados, foi possível melhorar o desempenho da aplicação, assim como o posicionamento dos modelos 3D em relação ao edifício. Sendo estes os primeiros testes e por estar no início da modelação 3D foram testados quatro modelos, alguns deles ainda num estado inicial. Como se pode ver na imagem seguinte (Figura 72) o arco que estava no local errado, que posteriormente colocado no centro e não na parte esquerda do claustro.



Figura 72 - Primeiros testes ao sistema de RA na Sé do Porto

Na parte superior do claustro gótico temos um dos modelos 3D mais completo, que será um dos mais enriquecedores desta visita e que podemos ver a partir de vários ângulos. No primeiro teste na Sé do Porto é possível constatar que o alpendre não estava no seu local correto (Figura 73).



Figura 73 - Primeiros testes ao sistema de RA na Sé do Porto

À medida que o desenvolvimento da aplicação ia avançando, foi adicionada mais uma funcionalidade que permitia aos utilizadores terem outras perspetivas dos modelos 3D para que pudessem ser vistos noutros ângulos e ser aproximados ou afastados consoante a necessidade.

Tendo, então, uma parte da aplicação destinada a essa função, foi necessário ter algum código para a rotação e *zoom* dos modelos 3D, adicionando esse mesmo código aos objetos.

Para rodar os objetos em torno do seu centro foi utilizado o seguinte código:

```
void Update () {  
    if(Input.touchCount==1 &&  
Input.GetTouch(0).phase==TouchPhase.Moved)  
    {  
        Vector2 touchDeltaPos = Input.GetTouch(0).deltaPosition;  
        transform.RotateAround(this.transform.position, Vector3.up, -  
touchDeltaPos.x * speed);  
        transform.RotateAround(this.transform.position,  
Vector3.forward, touchDeltaPos.y * speed);  
        transform.RotateAround(this.transform.position, Vector3.right,  
-touchDeltaPos.y * speed);  
    }  
}
```

Para fazer *zoom* nos objetos com o gesto conhecido como “*pinch*” usou-se o código abaixo:

```
void Update () {  
    if (Input.touchCount == 2 && (Input.GetTouch(0).phase ==  
TouchPhase.Began || Input.GetTouch(1).phase == TouchPhase.Began))
```

```

    {
        oldDistance = Vector2.Distance(Input.GetTouch(0).position,
Input.GetTouch(1).position);
    }
    else if (Input.touchCount == 2 && (Input.GetTouch(0).phase ==
TouchPhase.Moved || Input.GetTouch(1).phase == TouchPhase.Moved))
    {
        float distance;
        Vector2 touch1 = Input.GetTouch(0).position;
        Vector2 touch2 = Input.GetTouch(1).position;

        distance = Vector2.Distance(touch1, touch2);

        float pinchAmount = (oldDistance - distance) * zoomspd *
Time.deltaTime;
        Camera.main.transform.Translate(0, 0, pinchAmount);
        oldDistance = distance;
    }
}

```

Com estes excertos de código transformou-se a aplicação numa forma de visualização de 360° dos modelos 3D, para poder ser utilizada na sala de aula sem a necessidade de deslocação à Sé do Porto (Figura 74).

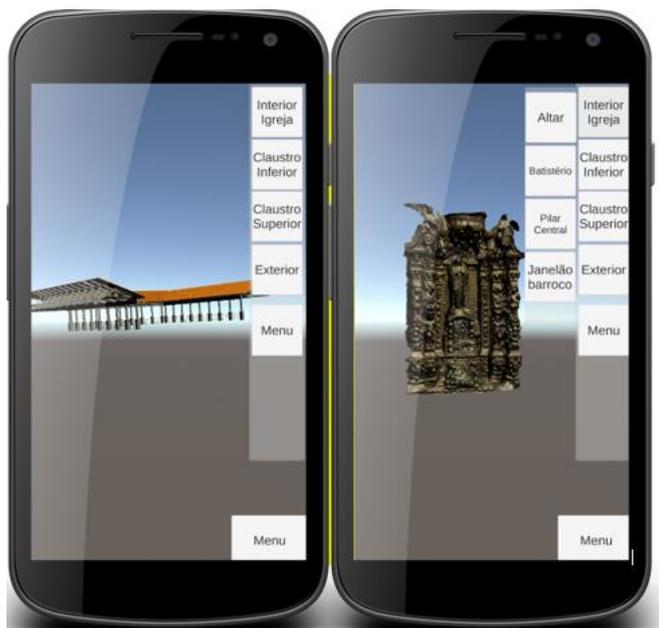


Figura 74 - Visualização de modelos 3D com opção de rotação e zoom

A aplicação contém um menu com as várias partes da Sé do Porto e com os modelos que estão disponíveis em cada parte. Como por exemplo no interior da igreja temos o altar do Coração de Jesus, o batisério e a janela, o pilar central da catedral e o janelão barroco. A aplicação, como qualquer congénere nos *smartphones* ou *tablets* Android, pode ser transmitida em vários ecrãs para que todas as pessoas possam ver os modelos 3D e assim, as observações tornam-se mais interativas.

Numa das reuniões feitas na FLUP existiu a oportunidade de contar com a presença de Jose Luis Rubio Tamayo da Universidade Rey Juan Carlos, Espanha e que esteve uma semana na Universidade do Porto em colaboração com Maria Leonor Botelho.

Jose Luis Rubio Tamayo, além de lecionar, faz parte do Grupo de Investigación Ciberimaginario Communication and Media - Ciberimaginario, que faz investigação na área de multimédia, RA e RV com cerca de 50 publicações científicas.

Na opinião de Jose Tamayo, a aplicação está, de forma geral, bem estruturada; estivemos a falar um pouco do funcionamento da aplicação no interior da igreja e também dos programas que foram utilizados para a modelação 3D. No final da reunião, aconselhou a utilização texturas nos modelos 3D, simples, mas que dessem mais realismo ao mesmo.

Com a junção de várias imagens da esquerda para a direita: textura, *light map*, *hight map*, *normal map*, e *roughness map*. Que são os componentes para termos uma textura completa, com efeito de relevo, luminosidade e profundidade (Figura 75).

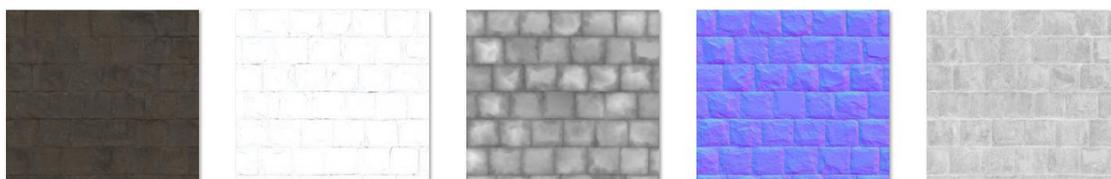


Figura 75 - Conjunto de imagens para a criação da textura

Depois de inserir as imagens no Unity 3D, obteve-se os modelos 3D com uma textura como demonstra a seguinte imagem (Figura 76).



Figura 76 - Batistério com a textura aplicada

Depois da realização de alguns testes no interior da Sé do Porto, concluiu-se que as texturas levavam a que não se conseguisse distinguir o modelo 3D com textura do resto da catedral,

tornando assim a retroceder e utilizar uma cor simples e clara, para que os modelos 3D não se confundissem com o meio em que se encontram.

Por fim, acrescentou-se, na aplicação duas plantas da Sé do Porto com os pontos passíveis de serem “aumentados”, tornando mais simples a utilização da aplicação (Figura 77).



Figura 77 - Plantas com os pontos de RA

3.5 Impressão 3D

Depois de ter a aplicação concluída partiu-se para um novo desafio: a impressão 3D dos modelos anteriormente desenvolvidos. Foi adquirida uma impressora 3D em Kit para ser assembled, da marca Anet modelo A8 (Figura 78). Trata-se de uma impressora de nível inicial para impressão 3D.

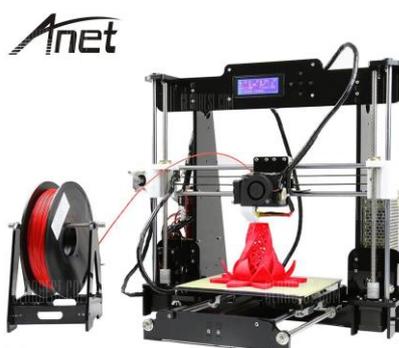


Figura 78 - Impressora 3D ⁴¹

⁴¹ GearBest Anet A8 https://www.gearbest.com/3d-printers-3d-printer-kits/pp_337314.html

A impressão 3D ou *Fused deposition modeling* (FDM) consiste na adição de *Polylactic Acid* (PLA) ou *Acrylonitrile Butadiene Styrene* (ABS), que é aquecido a uma temperatura entre 180°C a 200°C no caso do PLA ou 230°C a 250°C no ABS, variando de fabricante para fabricante. Neste caso utilizou-se PLA em cor cinza para a impressão dos modelos. O PLA é extrudido através de um bocal de 0.4mm para construir camada a camada, numa base aquecida a 60°C, um objeto final que é constantemente arrefecido para que não altere a sua forma, depois de ser posicionado.

Recorreu-se ao *software* Cura, que transforma o modelo 3D num ficheiro que é lido pela impressora. Pode ver-se na próxima imagem (Figura 79) a interface do *software* com um dos modelos 3D.

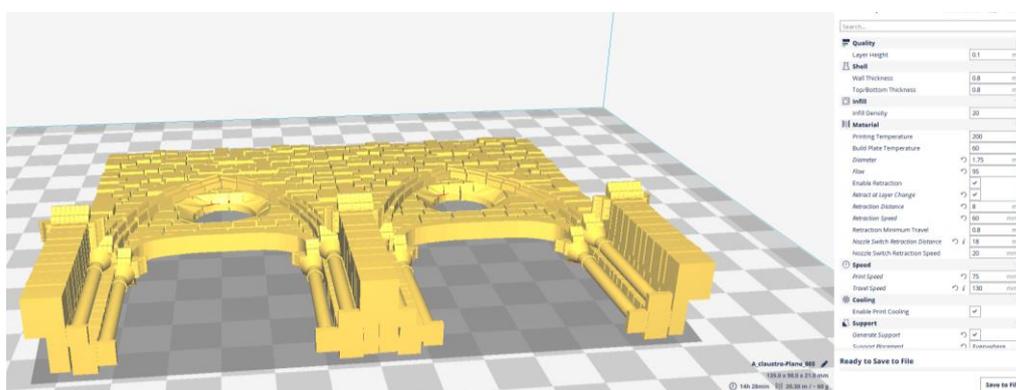


Figura 79 - *Software* de impressão 3D

Neste *software* existem variados parâmetros que podem ser alterados para que se obtenha uma impressão mais refinada, ou uma impressão mais rápida, entre muitos outros parâmetros.

Nas próximas imagens apresenta-se os modelos 3D impressos para serem utilizados em contexto académico como ferramenta didática e algumas explicações dos processos necessários na impressão 3D.

O processo inicial da impressão 3D consiste na criação de várias linhas para formar uma camada aderente à base da impressora como é possível ver na Figura 80.

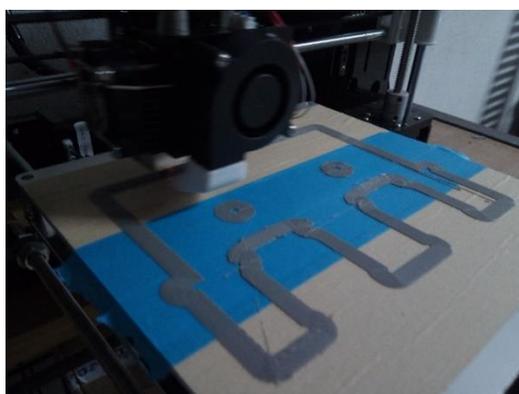


Figura 80 - Camada aderente na base da impressora

Posteriormente, é adicionada uma malha de preenchimento e nivelamento de todas as zonas, como é possível ver na próxima imagem (Figura 81); essa camada pode conter partes da peça que são mais profundas e outras zonas em malha que, no final, é retirada para que se obtenha o modelo 3D o mais limpo possível.

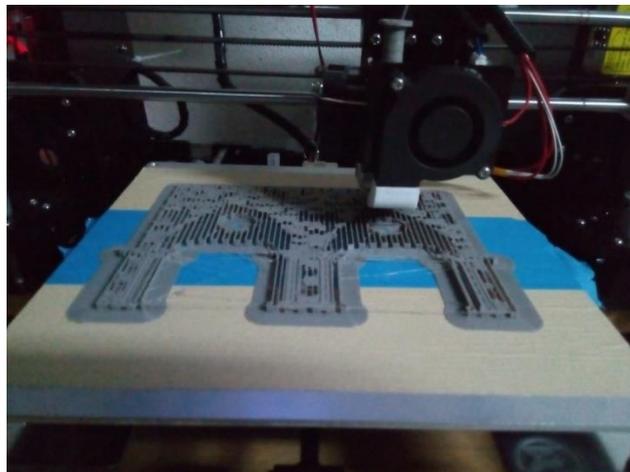


Figura 81 - Malha de preenchimento

Na Figura 82, é visível uma impressão a cerca de 40% de estar concluída, sendo visíveis os arcos já com a sua forma, sendo salientes alguns pormenores, como por exemplo os pilares, o oculo central, entre outras a partes que vão ganhando forma à medida que são impressas em PLA e sempre a 200°C. Para que este modelo fosse concluído, foram necessárias quinze horas de impressão e 20.30 metros de PLA.



Figura 82 - Vista da impressão a 60%

Na Figura 83, está exposta a impressão final dos arcos abatidos, na qual pode ver-se todos os pormenores: o óculo da empena da arquivolta, os pilares de suporte, as pequenas pedras que

formam o arco (ficaram com um ótimo detalhe, tornando assim o modelo impresso muito apelativo e agradável), pois esta impressão foi efetuada com parâmetros de qualidade superior.



Figura 83 - Impressão 3D dos arcos abatidos do claustro inferior

A impressão 3D está a tornar-se uma forma privilegiada de transmissão de conhecimento e, portanto, um poderoso aliado na área da pedagogia. Assim sendo, foi utilizado este método para transformar os modelos 3D digitais em modelos físicos, com os quais é possível estabelecer contacto real. É, também, importante destacar o facto da impressão 3D ser capaz de potenciar a imaginação, através da possibilidade da criação de novos objetos que se revelam verdadeiras invenções; esta tecnologia, proporcionando a estimulação da criatividade dos alunos, torna-se uma importante ferramenta de lecionação, contribuindo largamente para a motivação dos alunos.

Segundo Maria Leonor Botelho, estes modelos 3D impressos trarão uma nova forma de abordar o ensino do monumento em foco no presente estudo e também poderão ser utilizados, nesta forma de modelo 3D impresso, por pessoas invisuais ou com pouca capacidade de visão.

Todos os modelos 3D (em suporte digital) estarão disponíveis em anexo a este documento (anexo B); na apresentação final será possível o contacto com os modelos impressos.

3.6 Resumo

Neste capítulo fez-se, primeiramente, uma análise da aplicação e divisão das várias partes funcionais: reconhecimento de imagem com os modelos 3D no local onde existiam anteriormente, mapa com pontos com RA assinalados, reconstituições digitais disponíveis para consulta. Foram estudados e definidos os requisitos funcionais e não funcionais, produto do processo de recolha de informação, para que a aplicação fosse desenvolvida. Na mesma linha de estudo, foi elaborado o caso de uso que representa a interação entre o utilizador e o sistema.

Em segundo lugar, abordou-se várias questões técnicas da plataforma *online* de reconhecimento de imagem do Vuforia – o *Target Manager* –, a criação dos modelos 3D e toda

a documentação necessária a esse processo (como é sugerido pela Carta de Londres), o desenvolvimento da aplicação e a impressão 3D.

Posteriormente, foram apresentadas as definições e alterações feitas nas imagens de reconhecimento, para que se obtivesse o melhor resultado no número de *features*: o ângulo de fotografia, o contraste, entre outros valores que foram melhorados. As alterações efetuadas conduziram a um melhor desempenho do reconhecimento na aplicação.

De seguida, foi abordada toda a modelação dos modelos 3D, com alguns dos processos mais detalhados e toda a documentação necessária, de acordo com a Carta de Londres e Princípios de Sevilha: fotografias de referência, plantas, desenhos e decisões efetuadas na modelação.

Em quarto lugar, foram apresentados os contornos iniciais da aplicação, bem como os primeiros testes efetuados. Existe, também, registo de outros testes realizados em fases posteriores do desenvolvimento da aplicação, bem como partes de código no módulo de visualização dos modelos 3D.

Por fim, foi descrito o processo de impressão 3D das partes modeladas, através de uma breve explicação sobre o funcionamento da impressora, e os vários passos que são necessários para concluir uma impressão.

4 Avaliação da solução

Neste capítulo é apresentada a avaliação do protótipo da solução: as forças, hipóteses e, também, que metodologias foram utilizadas para aferir a viabilidade e usabilidade da solução.

Para isso, recorreu-se a um guião para a recolha de dados, que se encontra em anexo neste documento (anexo A), com um questionário para ser preenchido *online*, sobre a usabilidade da aplicação, avaliação dos modelos 3D e propostas de melhorias para a aplicação.

Neste capítulo apresentam-se, também, os resultados obtidos pelo preenchimento do questionário, sendo feita a análise e apreciação dos mesmos.

4.1 Forças e Hipóteses

Para que se consiga avaliar a aplicação, tornou-se necessário aferir quatro grandezas.

Primeiro, a satisfação dos utilizadores da aplicação, pois a aplicação só tem resultados se os utilizadores aderirem à aplicação, que requer o uso de novas tecnologias e que tenham alguma curiosidade sobre a história da Sé do Porto. Segundo, se com a utilização da aplicação existiu transmissão de conhecimento sobre o tema. Terceiro, se esta forma de comunicação, com recurso a Realidade Aumentada é mais eficiente e apelativa. E, por fim, o funcionamento da aplicação em vários ambientes diferentes, dentro do edifício, fora, com luminosidade ténue e qual a sua performance em vários dispositivos. Estas quatro grandezas foram avaliadas por um grupo de pessoas, com o intuito de verificar o funcionamento da aplicação em todas as componentes e verificar, também, a existência na aplicação de uma componente lúdica abrangente.

Com isto, foram elaboradas quatro hipóteses de avaliação:

- Os utilizadores gostaram da aplicação?

- Com esta aplicação ficaram a perceber quais as alterações que ocorreram na Sé do Porto?
- O que pensam da utilização de Realidade Aumentada no turismo/aquisição de conhecimento?
- Qual a resposta da aplicação em ambientes adversos?

4.2 Metodologias de avaliação

A aplicação foi testada em ambiente real, na Sé do Porto, e com isso obteve-se dados para que fosse possível fazer uma análise ao seu funcionamento, transmissão de conhecimento e utilidade na área da educação e aquisição de conhecimento. Para isso, utilizou-se um grupo de teste. Esse mesmo grupo visitou a Sé do Porto com o dispositivo móvel com a aplicação de RA. No final foi realizado um inquérito de avaliação aos conhecimentos e de usabilidade da aplicação.

Providenciou-se de um guião para a recolha de dados, que se encontra em anexo a este documento (anexo A), com um questionário que foi preenchido *online*, sobre a usabilidade da aplicação, avaliação dos modelos 3D e propostas de melhorias para a aplicação. O questionário disponibilizado para preenchimento *online* encontra-se apresentado abaixo:

- Questionário sobre usabilidade com classificação de 0 a 5.
 1. Os modelos 3D aparecem com o posicionamento correto?
 2. Os modelos 3D aparecem com a orientação correta?
 3. A aplicação tem um funcionamento fluido?
 4. No exterior da catedral a aplicação funciona corretamente quando a luz é intensa ou escassa?
 5. No interior da catedral a aplicação funciona corretamente quando a luz é intensa ou escassa?
 6. Retém mais conhecimento numa visita com esta aplicação, do que sem ela?
 7. O que pensam da utilização de Realidade Aumentada no turismo/aquisição de conhecimento?
 8. Qual a resposta da aplicação em ambientes adversos?
- Avalie os modelos 3D com uma classificação de 0 a 5, em que 0 representa o caso mais desfavorável e 5 o mais favorável.
 1. Acha que os modelos 3D são fidedignos?
 2. O detalhe está bem conseguido?
 3. A iluminação é a correta?
 4. As texturas são cores básicas, acha que deveria ter texturas mais realistas?

(resposta aberta)

- Que melhorias aconselha para a aplicação?

4.3 Resultados obtidos

Neste subcapítulo apresentam-se os gráficos com o resultado das várias questões colocadas no questionário que foi efetuado a um grupo de 20 participantes, que foram divididos em várias visitas á Sé do Porto. Com isto, retiraremos conclusões sobre o funcionamento da aplicação, assim como da sua principal função – transmissão de conhecimento de uma forma interativa e mais apelativa – para que dote a educação de aplicações de Realidade Aumentada, neste caso com foco na história do século XX e no património da Sé do Porto.

4.3.1 Respostas no questionário sobre usabilidade

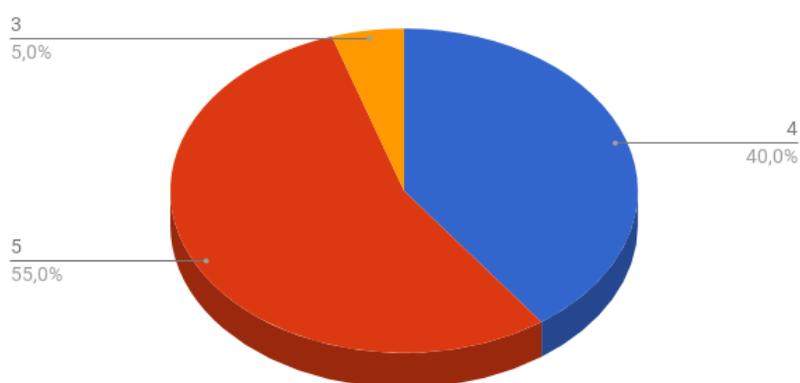


Gráfico 1 - Posicionamento dos modelos 3D em relação ao mundo real

Pretende-se aferir se os modelos 3D apareciam com o posicionamento correto através da aplicação desenvolvida. No Gráfico 1, é possível aferir que os modelos 3D aparecem com o posicionamento correto. As respostas variam maioritariamente entre o 4 (bom) e o 5 (muito bom), o que traduz um resultado muito positivo. 95% dos inquiridos refere que o posicionamento é bom (40%) ou muito bom (55%) no que concerne ao posicionamento dos modelos 3D em relação ao mundo real.

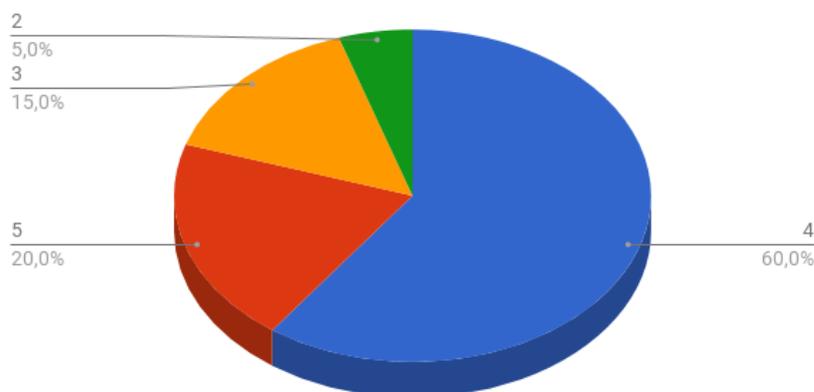


Gráfico 2 – Avaliação da orientação dos modelos 3D

No Gráfico 2, pode verificar-se o resultado da avaliação à orientação dos modelos 3D. Os inquiridos referem que a orientação dos modelos 3D é satisfatória (15%), boa (60%) ou muito boa (20%), o que traduz um resultado bom, na orientação dos modelos 3D em relação ao mundo real.

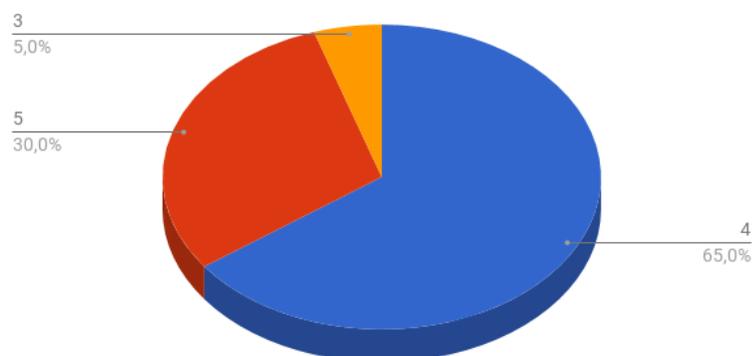


Gráfico 3 – Avaliação da fluidez da aplicação

Os inquiridos, relativamente à fluidez da aplicação, responderam que o seu funcionamento é fluido (95%), com 65% a avaliarem com bom e 30% com muito bom, como é demonstrado no Gráfico 3 em que, não existem problemas significativos no decorrer da utilização da aplicação.

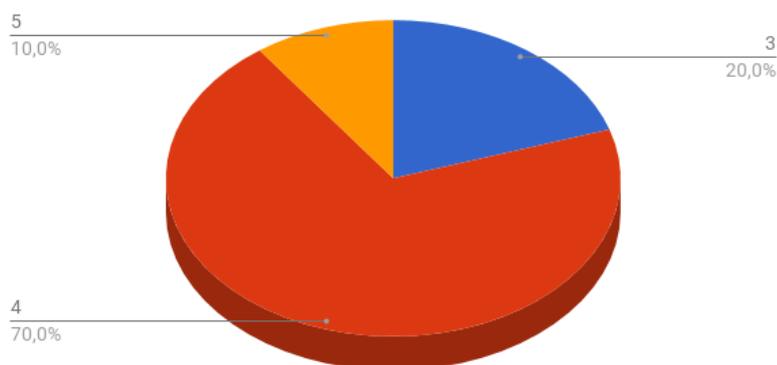


Gráfico 4 - Funcionamento da aplicação no exterior

No Gráfico 4, verifica-se que o funcionamento da aplicação no exterior da catedral em relação à luminosidade está maioritariamente classificado como bom (70% das respostas), o que demonstra que o resultado foi positivo quando testada no exterior da catedral.

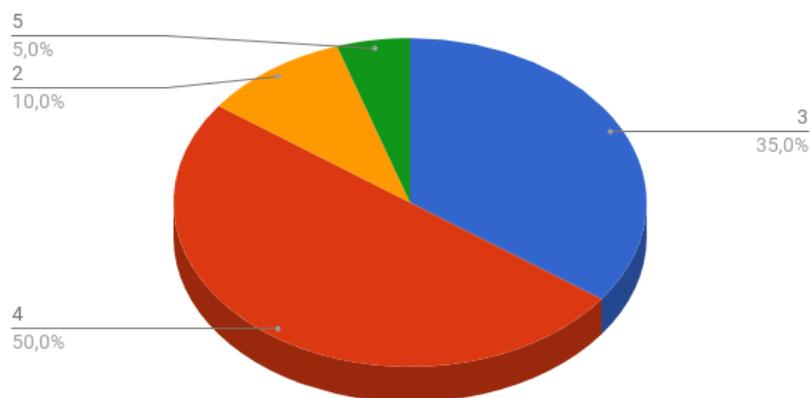


Gráfico 5 – Funcionamento da aplicação no interior da catedral

Neste gráfico (Gráfico 5), verifica-se que o funcionamento da aplicação no interior da catedral e em relação à luminosidade está classificado como 4 (bom) e 3 (razoável), com uma classificação de 85%. Deste modo, é possível aferir que este resultado foi menos positivo quando comparado com o obtido no exterior da catedral.

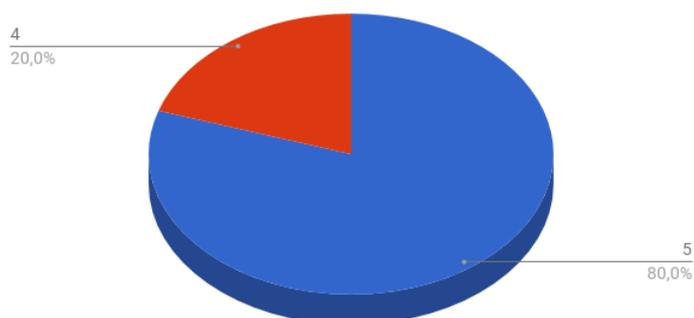


Gráfico 6 – Retenção de conhecimento com a aplicação

O Gráfico 6, contém um dos resultados mais importantes nesta dissertação, em que é focada a retenção de conhecimento com a utilização da aplicação. Os valores estão concentrados em 5, com 80%, que vai de encontro ao objetivo da criação da aplicação, aumentar a aquisição de conhecimento através da realidade aumentada.

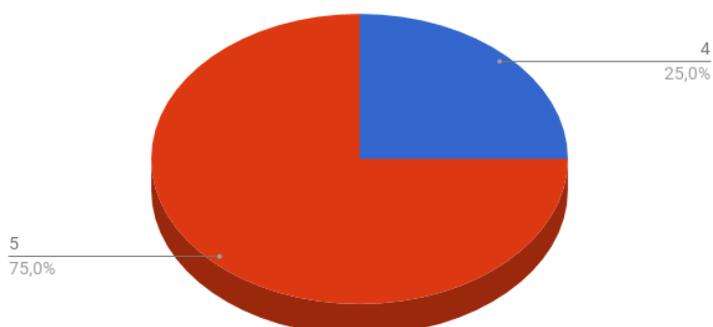


Gráfico 7 - Utilização de Realidade Aumentada no turismo/aquisição de conhecimento

A experiência de utilização de realidade aumentada revelou alguns resultados apresentados pelo Gráfico 7. Os inquiridos referem que a sua experiência foi muito boa (75%) com a utilização da aplicação de realidade aumentada proposta sendo que, para alguns deles se tratou da primeira experiência com esta tecnologia.

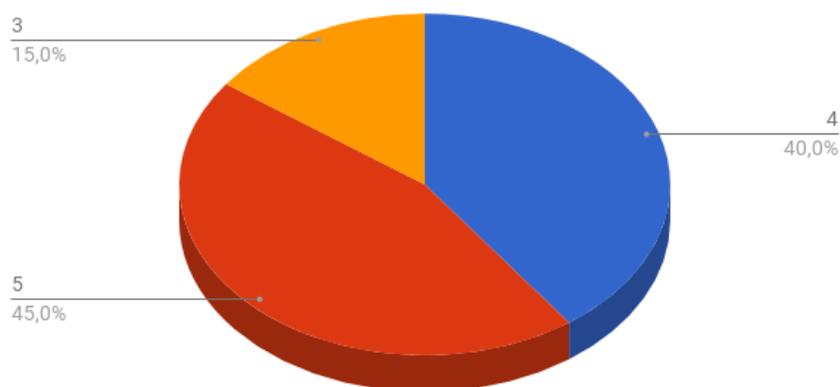


Gráfico 8 - Funcionamento da aplicação em ambientes adversos

Quando inquiridos relativamente ao funcionamento da aplicação em ambientes adversos, 15% considera que o funcionamento é razoável, 40% considera bom e 45% considera um funcionamento muito bom.

4.3.2 Respostas no questionário sobre os modelos 3D

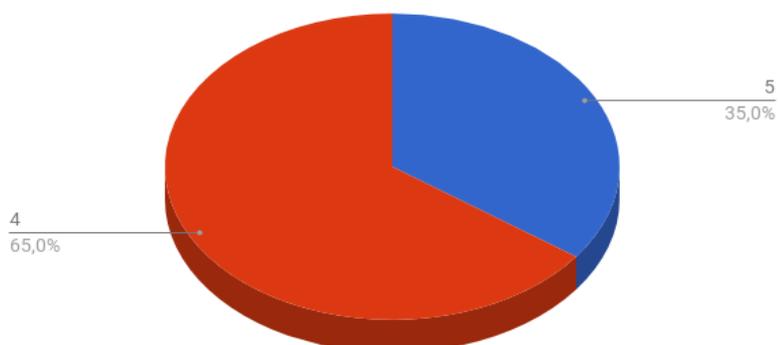


Gráfico 9 - Fidelidade dos modelos 3D

Este gráfico permite concluir que os inquiridos afirmam a fidelidade dos modelos 3D em relação ao existente no século XX, classificando com 4 e 5, o que traduz um resultado muito bom.

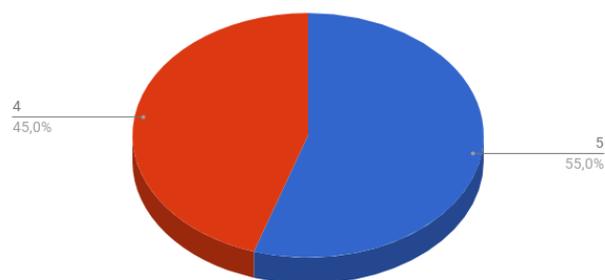


Gráfico 10 – Detalhe dos modelos 3D

Pretende-se aferir se a qualidade do detalhe dos modelos 3D é o adequado. No Gráfico 10 verifica-se que essa qualidade foi conseguida, pois os inquiridos apreciaram a qualidade e o detalhe que foi utilizado na modelação 3D. Tal facto é expresso na avaliação dada – níveis 4 e 5.

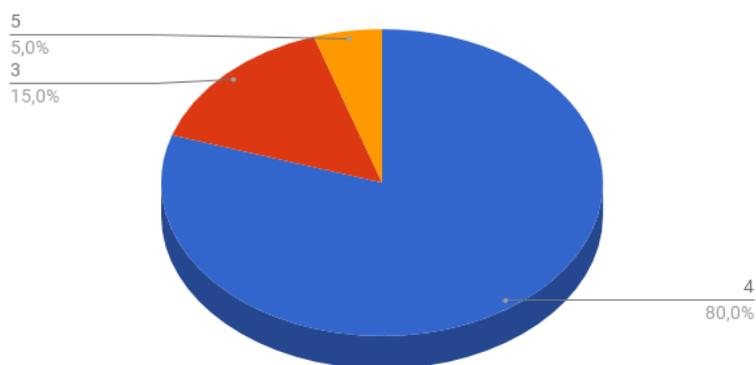


Gráfico 11 - Iluminação dos modelos 3D

O Gráfico 11 contém o resultado da questão relativa à iluminação dos modelos 3D. Os valores estão concentrados em 4, o que traduz um resultado satisfatório.

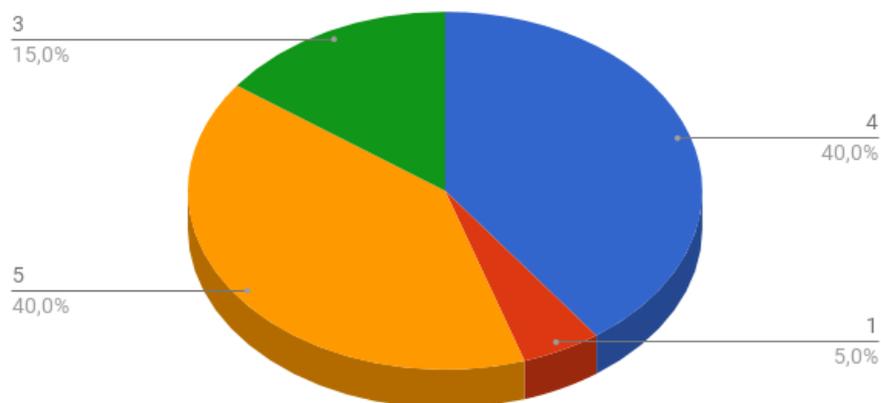


Gráfico 12 - Texturas dos modelos 3D

O Gráfico 12, e último gráfico, representa o resultado relativamente às texturas dos modelos 3D. Os valores estão concentrados em 4 e 5, igualmente, o que traduz um resultado satisfatório e notório da opção da escolha de cores básicas.

4.3.3 Respostas no questionário para melhorias a efetuar na aplicação

- Incluir a hipótese de colocar e retirar texturas à escolha do utilizador
- Nenhuma! A aplicação é excelente.
- Incluir a localização GPS da posição do utilizador na planta do edifício
- Incluir notas arquitetónicas do edifício disponíveis e talvez um dicionário de termos técnicos
- Associar Óculos [Oculus] Rift à aplicação

As respostas dadas pelos utilizadores sugerem melhorias para uma próxima versão da aplicação, como por exemplo, ter a hipótese de ativar ou desativar as texturas nos modelos 3D ou a posição do utilizador na planta do edifício, juntamente com os pontos de RA. Notas sobre a arquitetura e um dicionário também seriam uma mais-valia para a aplicação, assim como ter uma componente de RV com Oculus Rift ou simplesmente num *smartphone* aproveitando a aplicação protótipo existente.

4.4 Resumo

Neste capítulo foi apresentada toda a metodologia de avaliação ao protótipo, assim como as questões para que a aplicação fosse testada em ambiente real, na Sé do Porto, obtendo, assim, os dados necessários para a realização de uma análise ao seu funcionamento, transmissão de conhecimento, utilidade na área da educação e aquisição de conhecimento.

Para isso, utilizou-se um guião para a recolha de dados, com um questionário que foi preenchido *online*, acerca da usabilidade da aplicação, avaliação dos modelos 3D e propostas de melhorias para a aplicação.

Os resultados desses questionários foram analisados e retiradas conclusões sobre as respostas e avaliações feitas pelo público-alvo dos testes da aplicação protótipo.

5 Conclusões e perspetivas de trabalho futuro

O último capítulo da presente dissertação comporta o balanço do projeto desenvolvido e implementado ao longo do ano letivo 2016/2017. Aqui são expostos os aspetos positivos e as dificuldades encontradas ao longo de todo o percurso, assim como possíveis trabalhos decorrentes da ideia central deste projeto.

5.1 Conclusões

O principal objetivo desta dissertação, que consistia na demonstração da ideia do uso da realidade aumentada aplicada ao património e na educação, foi atingido. No decorrer da presente investigação foi desenvolvida uma aplicação com recurso a realidade aumentada e modelação 3D de vários setores da Sé do Porto que foram alterados no século XX, com o intuito de ser aplicar na pedagogia de História de Arte na Universidade do Porto, FLUP. Além da componente de realidade aumentada, foram desenvolvidos os módulos de visualização de modelos 3D em vários ângulos e distâncias, assim como um mapa de orientação para que seja mais fácil a utilização da aplicação na Sé do Porto.

Efetou-se, primeiramente, um estudo sobre a *Digital Heritage*, que é a forma digital de preservar o património para as próximas gerações (tanto o património existente e que está em risco como o inexistente e que é reconstruído digitalmente). Abordou-se a Carta de Londres e os Princípios de Sevilha, que definem os princípios para a utilização dos métodos e resultados da visualização computadorizada no campo da investigação e divulgação do património cultural.

Em segundo lugar, realizou-se um estudo sobre a Sé do Porto com base no livro de Maria Leonor Botelho, "A Sé do Porto no século XX" (Botelho, 2006a), artigos científicos da mesma autora e

o *website* do SIPA (Direção-Geral do Património Cultural, 2016), que contém informações, plantas, alçados, cortes, desenhos e fotografias da Sé do Porto em várias épocas.

Foi, também, estudada a Realidade Aumentada, a sua definição e desenvolvimento ao longo do tempo e foram estudadas várias API e SDK para desenvolvimento de aplicações de RA.

No caso dos edifícios com alguma espessura histórica, como o caso da Sé do Porto, bem como de objetos com valor histórico, a reconstituição digital tem de ser elaborada com o maior detalhe possível e, como referido anteriormente, obedecer aos princípios propostos pela Carta de Londres e Princípios de Sevilha, nomeadamente ao nível da verosimilidade das fontes e do processo de documentação do processo de criação dos modelos.

De seguida, foi abordada a modelação 3D, com alguns dos processos mais detalhados e toda a documentação necessária como sugere a Carta de Londres e Princípios de Sevilha, como fotografias de referência, plantas, desenhos e decisões efetuadas na modelação. Foi, também, exposto o processo de impressão 3D dos modelos desenvolvidos.

Durante o desenvolvimento da aplicação, foi necessário proceder a inúmeros testes e ajustes nos modelos 3D (posicionamento, texturas, rotação) e nas imagens de reconhecimento (luminosidade, número de *features*, contraste). Na junção dos modelos 3D com a componente de RA, foi imprescindível realizar testes em vários períodos do dia, no interior e exterior da Sé do Porto, o que, por vezes, se revelou um desafio, devido à escassez de luminosidade natural no interior do edifício.

Foi apresentada toda a metodologia de avaliação do protótipo, assim como as questões para que a aplicação fosse testada em ambiente real, na Sé do Porto. Com isso, foram obtidos os dados necessários à análise do funcionamento da aplicação, eficácia na transmissão de conhecimento, utilidade na área da educação e aquisição de conhecimento.

O guião para a recolha de dados que se encontra em anexo neste documento, com o questionário que foi preenchido *online*, encaminhou respostas com conhecimento sobre a usabilidade da aplicação, avaliação dos modelos 3D e propostas de melhorias para a aplicação.

Findo o estudo, há a destacar positivamente o interesse demonstrado no projeto, desde o primeiro instante, por parte de todos os intervenientes (mestrando e Professores das várias instituições de ensino), o intercâmbio de conhecimento estabelecido entre as duas partes envolvidas diretamente no desenvolvimento do projeto (Engenharia Informática e História de Arte), a experiência desafiante e enriquecedora da montagem de uma impressora 3D e impressão 3D (permitindo ao mestrando o aprofundamento do conhecimento nestas áreas) e, ainda, a possibilidade de teste *in loco* da aplicação desenvolvida.

Contudo, encontrou-se alguns obstáculos ao longo da investigação, de entre os quais se destacam os problemas associados à impressão 3D (entupimento do *extruder* e longos tempos de impressão – entre 4 e 48 horas para cada um dos modelos criados) e o facto da envolvimento de um dos altares em estudo se encontrar em processo de restauro e, portanto, não ser possível

reunir um número de fotografia necessário para a modelação automática (através do Autodesk ReMake).

Em suma, pode concluir-se que o objetivo inicial foi alcançado, com sucesso, existindo satisfação manifestada por parte de todos os intervenientes no Projeto, bem como por parte dos voluntários que participaram no teste da aplicação desenvolvida. Desta forma, pode fazer-se uma autoavaliação francamente positiva ao trabalho multidisciplinar desenvolvido.

5.2 Trabalho futuro

Como trabalho futuro temos, segundo as respostas dos utilizadores que testaram a aplicação, a opção de ativar ou desativar as texturas nos modelos 3D ou a posição do utilizador na planta do edifício, juntamente com os pontos de RA; notas sobre a arquitetura e um dicionário também seriam uma mais-valia para a aplicação. Ainda nas sugestões dadas pelos inquiridos, surge a hipótese de incluir uma componente de RV com Oculus Rift ou simplesmente num *smartphone* aproveitando a aplicação protótipo existente.

A aplicação, como trabalho futuro, poderá ser aplicada a outras áreas, como já foi referido anteriormente, como o caso do turismo, abrangendo um maior número de utilizadores. Com isto, existirá a hipótese de fazer com que a transmissão de conhecimento deste e de outros monumentos nacionais seja feita de forma mais alargada e interativa, cativando o público e fomentando a observação e preservação do património.

Referências

- ARToolKit. (2017a). ARToolKit. Retrieved from <https://artoolkit.org/>
- ARToolKit. (2017b). ARToolKit History. Retrieved from <https://artoolkit.org/about-artoolkit>
- Autodesk. (2015). ReMake. Retrieved from <https://remake.autodesk.com/about>
- Autodesk. (2017). 3DS Max. Retrieved from <http://www.autodesk.com/products/3ds-max/overview>
- Beacham, R., & Denard, H. (2003). The pompey project: Digital research and virtual reconstruction of rome's first theatre. *Computers and the Humanities*, 37(1), 129–139. <https://doi.org/10.1023/A:1021859830043>
- Bellini, H., Chen, W., Sugiyama, M., Shin, M., Alam, S., & Takayama, D. (2016). Virtual & Augmented Reality: Understanding the race for the next computing platform. *Profiles in Innovation*, 1–30. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Bimber, O., & Raskar, R. (2005). Modern approaches to augmented reality. *ACM SIGGRAPH 2006 Courses on - SIGGRAPH '06*, 1. <https://doi.org/10.1145/1185657.1185796>
- Blender.org. (2016). Blender 3D. Retrieved from <https://www.blender.org/>
- Botelho, M. L. (2006a). *A Sé do Porto no século XX*. Livros Horizonte.
- Botelho, M. L. (2006b). *A Sé do Porto no século XX* (pp. 13–61). Livros Horizonte.
- Botelho, M. L. (2016). *Lugares Sagrados de Portugal*.
- Botelho, M. L., & Ferreira, T. (2014). *Tourism Heritage and Authenticity The case of Porto*.
- Centro De Estudos De História Religiosa Universidade Católica Portuguesa. (2014). *A Sé do Porto e as intervenções da DGEMN (1929-1982). O CLERO SECULAR MEDIEVAL E AS SUAS CATEDRAIS*. Lisboa.
- Columbia University. (1996). MARS - *Mobile Augmented Reality Systems*. Retrieved from <http://monet.cs.columbia.edu/projects/mars/mars.html>
- Cyark.org. (2003). Cyark. Retrieved from <http://www.cyark.org/>
- Dias, R. (2014a). Castelos 3D. Retrieved from <http://ricardjmdias.wix.com/castelos3d>
- Dias, R. (2014b). *Reconstituição Digital em Património Os castelos de Vimioso e Monforte de Rio Livre*.
- Direção-Geral do Património Cultural. (2016). SIPA. Retrieved from http://www.monumentos.pt/Site/APP_PagesUser/SIPAArchives.aspx?id=092910cf-8eaa-4aa2-96d9-994cc361eaf1&nipa=IPA.00001086

- Epic Games. (2017). UnrealEngine. Retrieved from <https://www.unrealengine.com/what-is-unreal-engine-4>
- European Best Destinations. (2017). European Best Destinations. Retrieved from <http://www.europeanbestdestinations.com/best-of-europe/european-best-destinations-2017/>
- Forte, M. (2010). Introduction to Cyber-Archaeology, 9–14.
- Forte, M. (2014). Virtual Reality, Cyberarchaeology, Teleimmersive Archaeology. *3D Recording and Modelling in Archaeology and Cultural Heritage Theory and Best Practices*, 3–6.
- Geiger, C., Kleinnjohann, B., Reimann, C., & Stichling, D. (2001). *Mobile AR4ALL. Proceedings - IEEE and ACM International Symposium on Augmented Reality, ISAR 2001*, 181–182. <https://doi.org/10.1109/ISAR.2001.970532>
- Gonçalves, M. (2015). Évora 3D. Retrieved from http://www.iscte-iul.pt/Libraries/GCI_-_Documentos_e_Formulários/ISTAFV3D-ResumoMiguelGonçalves.sflb.ashx
- Google. (2015). Google Tango. Retrieved from <https://developers.google.com/tango/>
- Henrysson, A., Billinghurst, M., & Ollila, M. (2005). Augmented Reality on *Mobile Phones: Experiments and Applications. The Annual SIGRAD Conference Special Theme – Mobile Graphics*, 35–40.
- Hinum, K. (2016). Apple A10 Fusion GPU / PowerVR. Retrieved from <http://www.notebookcheck.net/Apple-A10-Fusion-GPU.173828.0.html>
- Inglobe Technologies S.r.l. (2017). AR-media. Retrieved from <http://www.armedia.it/>
- Instituto da Habitação e da Reabilitação Urbana. (2017). DGEMN. Retrieved from <https://www.portaldahabitacao.pt/pt/ihru/historico/dgemn.html>
- Kapp, K. (2012). The Gamification of Learning and Instruction, Pfeiffer. *San Francisco*, 480. <https://doi.org/10.4018/jgcms.2012100106>
- Linden Research, I. (2017). Second Life. Retrieved from <https://secondlife.com/?lang=pt>
- Lisbon pre 1755 earthquake. (2008). Lisbon pre 1755 earthquake. Retrieved from <https://lisbon-pre-1755-earthquake.org/sobre-o-projecto/>
- London Charter.org. (2009). London Charter.org. Retrieved from <http://www.londoncharter.org/>
- Mohammed-Amin, R. K. (2010). Augmented Reality: A narrative layer for historic sites, *MR82346*(November), 215. Retrieved from <http://search.proquest.com/docview/926969939?accountid=41453>
- PTC. (2016). Vuforia. Retrieved from <https://library.vuforia.com/getting-started>
- PTC. (2017a). PTC Home page. Retrieved from <https://www.ptc.com/>

- PTC. (2017b). Vuforia Home page. Retrieved from <https://www.vuforia.com/>
- Rewind Cities. (2015). Rewind Cities. Retrieved from <https://startups.ativarportugal.pt/startups/rewind-cities/>
- Rota das Catedrais. (2009). Catedral do Porto. Retrieved from <http://rotadascatedrais.com/pt/porto>
- Sutherland, I. E. (1965). The ultimate display. *Proceedings of the Congress of the International Federation of Information Processing (IFIP)*, 506–508. <https://doi.org/10.1109/MC.2005.274>
- Tamura, H. (2000). What Happens at the Border Between Real and Virtual Worlds - The MR Project and Other Research Activities in Japan. *Augmented Reality, International Symposium on*, 0, xii. <https://doi.org/10.1109/ISAR.2000.10019>
- Trimble. (2017a). 3D Warehouse. Retrieved from <https://3dwarehouse.sketchup.com/index.html>
- Trimble. (2017b). SketchUp. Retrieved from <https://www.sketchup.com/>
- Tsotros, M. (2002). Archeoguide : An Augmented Reality Guide for, (October), 52–60. <https://doi.org/10.1109/MCG.2002.1028726>
- Turismo de Portugal. (2017). Turismo de Portugal. Retrieved from <http://travelbi.turismodeportugal.pt/pt-pt/Paginas/HomePage.aspx>
- UNESCO. (1996). Historic Centre of Oporto. Retrieved from <http://whc.unesco.org/en/list/755>
- UNESCO. (2003). Charter on the Preservation of *Digital Heritage*. Retrieved from http://portal.unesco.org/en/ev.php-URL_ID=17721&URL_DO=DO_TOPIC&URL_SECTION=201.html
- UNESCO. (2016). Concept of *Digital Heritage*. Retrieved from <http://www.unesco.org/new/en/communication-and-information/access-to-knowledge/preservation-of-documentary-heritage/digital-heritage/concept-of-digital-heritage/>
- Unity 3D. (2017). Unity 3D. Retrieved from <https://unity3d.com/pt>
- Universidade Católica Portuguesa. (2004). CITAR. Retrieved from <http://citar.artes.porto.ucp.pt/>
- Virtual Archaeology International Network / Sociedad Española de Arqueología Virtual. (2011). Seville Principles. Retrieved from <http://smartheritage.com/seville-principles/seville-principles>
- Wikitude. (2015). Wikitude. Retrieved from <http://www.wikitude.com/developer/documentation/androidnative>
- Woodall, T. (2003). Conceptualising “Value for the Customer”: An Attributional, Structural and

Dispositional Analysis. *Academy of Marketing Science Review*, 12(5), 1–42.

Anexo A

Guião da sessão de recolha de dados da aplicação móvel RA - Sé do Porto



Mestrado em Engenharia Informática

Sessão de recolha de dados da aplicação móvel RA - Sé do Porto

Rafael Pereira

Orientador: Prof. Doutor António Vieira de Castro

Coorientador: Prof. Doutor João Paulo Pereira

Supervisor externo: Prof. Doutora Maria Leonor Botelho

Julho de 2017

Introdução

O guião aqui apresentado está contido na dissertação “Uso de Realidade Aumentada aplicada ao Património: o século XX na Sé do Porto”, elaborada no âmbito do Mestrado em Engenharia Informática, sendo a área de especialização Sistemas Gráficos e Multimédia.

A aplicação terá como principal objetivo a pedagogia e transmissão de conhecimentos, com o intuito de ser utilizada pela Faculdade de Letras da Universidade do Porto (FLUP) nas disciplinas de História de Arte e servirá como um guia para perceber as alterações arquitetónicas no século XX efetuadas pela Direcção-Geral dos Edifícios e Monumentos Nacionais (DGEMN) (Instituto da Habitação e da Reabilitação Urbana, 2017), permitindo aos seus utilizadores verem em 3D e no local onde foram feitas essas alterações, tornando assim a aprendizagem imediata e interativa para todos os que visitam a Sé do Porto.

No século XX, a Sé do Porto foi alvo de uma grande intervenção a todos os níveis (1927-1946), alterando assim a sua fisionomia e aspeto, o que, para a maior parte dos visitantes, é desconhecido.

A grande disseminação de *smartphones* e a possibilidade de utilização da Realidade Aumentada (RA) abrem novos campos para aplicações informáticas em que a interação com o utilizador é mais imersiva. A RA tem evoluído cada vez mais, e está a tornar-se uma tecnologia do dia-a-dia, tanto para aprendizagem como para o lazer.

Desde já agradeço a participação de todos na realização desta recolha de dados.

Planeamento da sessão

A sessão de recolha de dados será efetuada na Sé do Porto e terá uma duração aproximada de 40 minutos (Tabela 5).

Tabela 5 – Planeamento da sessão

Descrição da atividade	Tempo estimado
1. Apresentação e familiarização com a aplicação	10 minutos
2. Utilização da aplicação e recolha de dados	20 minutos
3. Preenchimento dos questionários	10 minutos

1. Apresentação e familiarização com a aplicação

A aplicação terá como principal objetivo a pedagogia e transmissão de conhecimentos, com o intuito de ser utilizada pela Faculdade de Letras da Universidade do Porto (FLUP) nas disciplinas de História de Arte, e servirá como um guia para perceber as alterações arquitetónicas no século XX efetuadas pela Direcção-Geral dos Edifícios e Monumentos Nacionais (DGEMN) (Instituto da Habitação e da Reabilitação Urbana, 2017), permitindo aos seus utilizadores verem em 3D e no local onde foram feitas essas alterações, tornando assim a aprendizagem imediata e interativa para todos os que visitam a Sé do Porto.

A aplicação está dividida em várias partes: um mapa para que se tenha a perceção do sítio onde se encontra, as reconstituições digitais disponíveis para que se possam visualizar em vários ângulos e distâncias, reconhecimento de imagem com os modelos 3D no local onde existiam anteriormente.

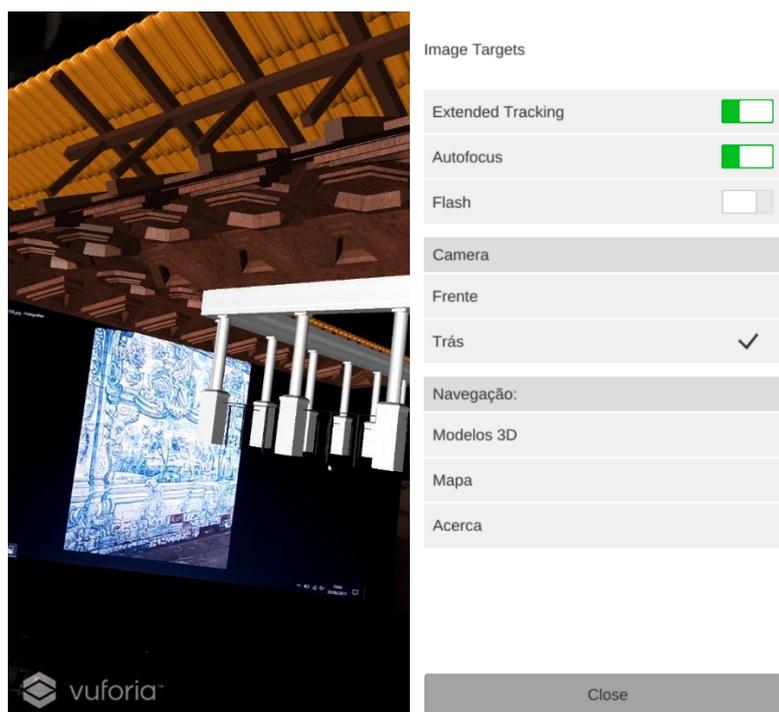


Figura 84 - Interface da aplicação e menu principal

Na aplicação principal para que aparece o menu utilizamos o duplo toque no ecrã (Figura 84). No menu temos várias opções para a câmara fotográfica do *smartphone*, escolha de câmara e navegação para aceder a todas as partes da aplicação.

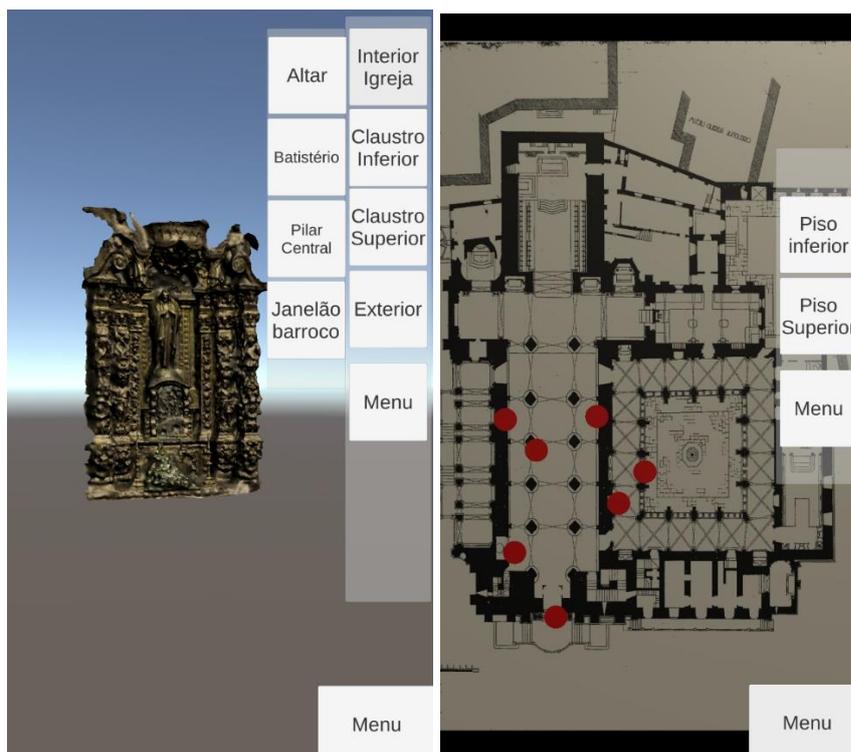


Figura 85 - Visualização dos modelos 3D e mapa com os pontos de interesse

Na imagem acima (Figura 85) temos a componente de visualização dos modelos 3D, em que podemos mudar os ângulos com a rotação, e distâncias em relação ao modelo 3D, com o *pinch zoom*. Temos o menu dividido pelas várias áreas da Sé do Porto. O mapa contém os pontos de interesse em que temos os modelos 3D ativos.

2. Utilização da aplicação e recolha de dados

Para a visita deverá munir-se de um *smartphone* com sistema operativo Android, versão mínima 4.0, equipado com câmara traseira e com pelo menos 100 MB de memória livre, suficiente para instalar a aplicação protótipo. Esta *designa-se* por RA - Sé do Porto e encontra-se disponível na hiperligação:

https://drive.google.com/file/d/0B_6mOwWK4I-7LVZBcm01dVdjCHM/view?usp=sharing

A visita que propomos engloba um percurso predefinido, com 11 locais assinalados, conforme o mapa distribuído neste guião e na aplicação (Figura 86 e Figura 87).

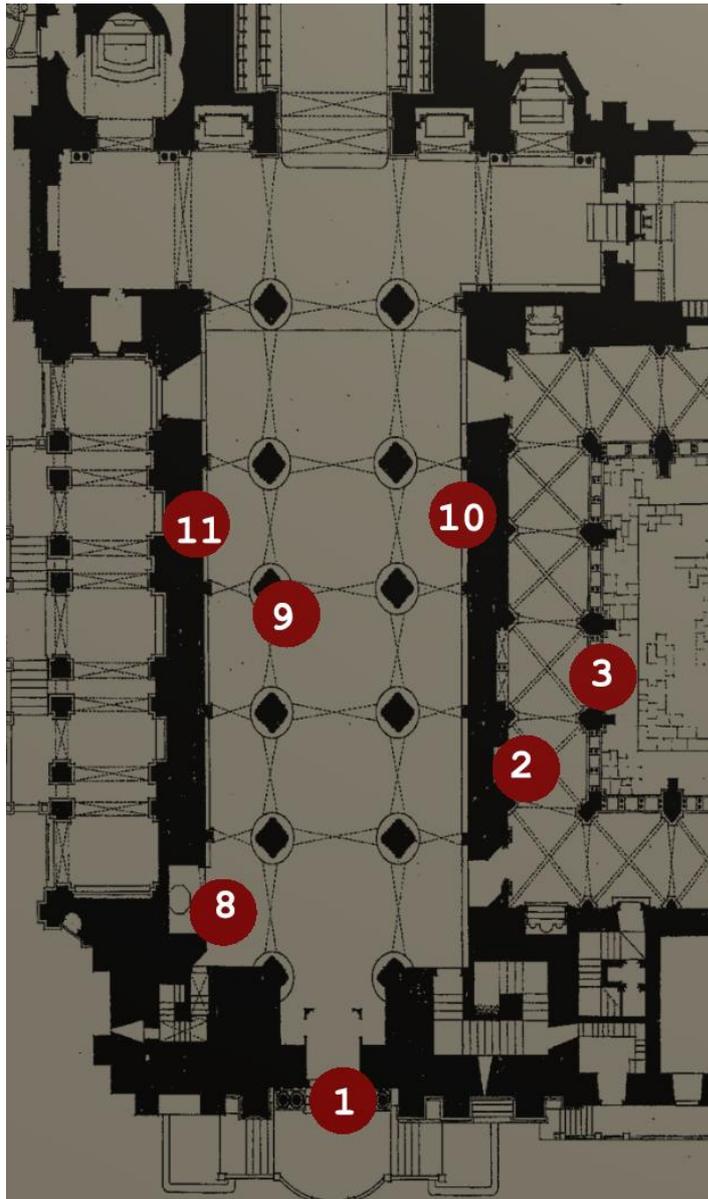


Figura 86 - Piso inferior da Sé do Porto

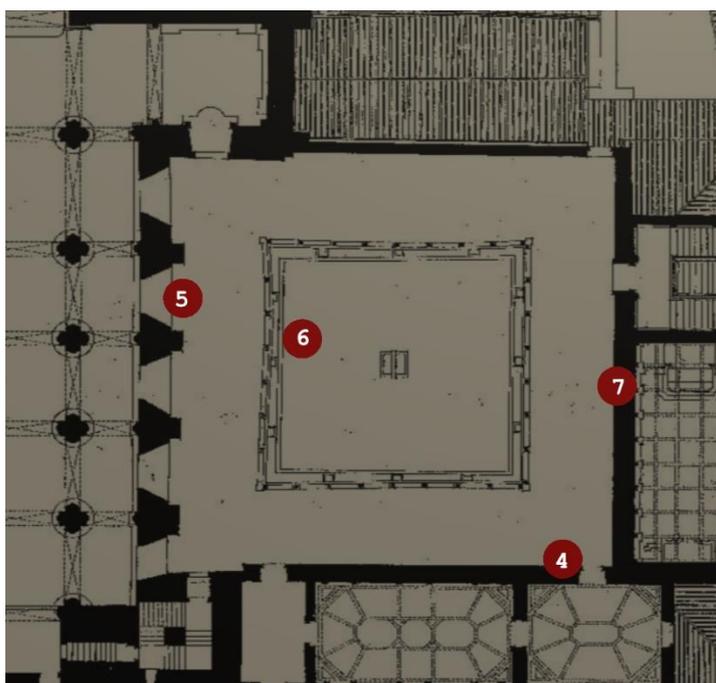


Figura 87 - Piso superior do claustro gótico

Em cada um dos locais, deverá apontar a câmara para o local indicado, procurando fazer coincidir as imagens da câmara com as imagens fornecidas, respetivamente.

O percurso proposto tem início no exterior da Sé, localizando-se aí o primeiro ponto assinalado (Figura 88):



Figura 88 - Rosácea gótica na entrada

1

Rosácea – deverá apontar a câmara para o ponto indicado, aparecendo o relógio.

Seguidamente, deverá dirigir-se para o Claustro inferior, onde encontrará dois dos pontos assinalados (Figura 89 e Figura 90):



Figura 89 - Arcos geminados

- 2 Arcos geminados – deverá apontar a câmara para o ponto indicado, aparecendo o azulejo.



Figura 90 - Arcos de entrada

- 3 Arcos de entrada – deverá apontar a câmara para o ponto indicado, aparecendo os arcos abatidos.

Em terceiro lugar, será oportuno encaminhar-se para o Claustro superior, onde poderá observar mais pontos assinalados (Figura 91, Figura 92, Figura 93 e Figura 94):



Figura 91 - Azulejos no claustro superior

4

Azulejos – deverá apontar a câmara para o ponto indicado, aparecendo o alpendre.

Atenção: Deverá ativar a opção *Extended Tracking* no menu, para que, ao movimentar o *smartphone*, o objeto 3D não desapareça, pois o telhado e teto de masseira será apresentado por cima do utilizador. Uma experiência única e fascinante.



Figura 92 - Torres e claustro superior

5

Janelas e torre – Deverá apontar a câmara para o ponto indicado, aparecendo os janelões barrocos e toda a sua envolvência.



Figura 93 - Arcos de entrada

- 6 Arcos de entrada – deverá apontar a câmara para o ponto indicado, aparecendo os arcos abatidos.



Figura 94 - Claustro superior

- 7 Vista geral do claustro superior – deverá apontar a câmara para o ponto indicado, aparecendo o alpendre.

Por fim, deverá deslocar-se até à Igreja, onde encontrará os últimos 4 pontos assinalados nesta visita (Figura 95, Figura 96, Figura 97 e Figura 98):



Figura 95 - Batistério

- 8 Batistério – deverá apontar a câmara para o ponto indicado, aparecendo o batistério que existia anteriormente.



Figura 96 - Pilar central

9

Pilar de suporte da igreja – deverá apontar a câmara para o ponto indicado, aparecendo os antigos com um pé maior e com os capitéis coríntios no topo das suas colunas.



Figura 97 - Vitral

10

Seteiras – deverá apontar a câmara para o ponto indicado, aparecendo os janelões barrocos.

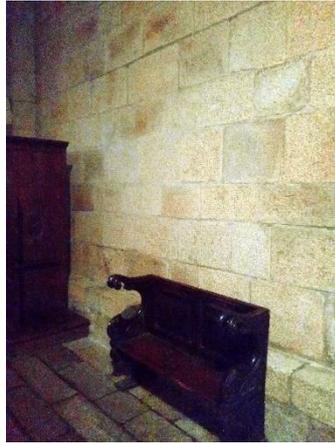


Figura 98 - Banco na nave lateral esquerda

- 11 Confessionário/banco - deverá apontar a câmara para o ponto indicado, aparecendo um dos altares que foi removido da Sé do Porto.

No final da visita iremos testar a componente de visualização de modelos 3D (Figura 99).

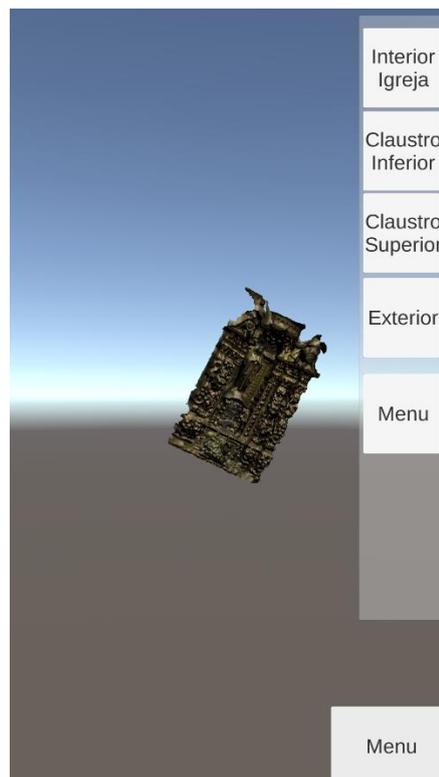


Figura 99 - Interface da aplicação dedicada à visualização dos modelos 3D

3. Preenchimento dos questionários

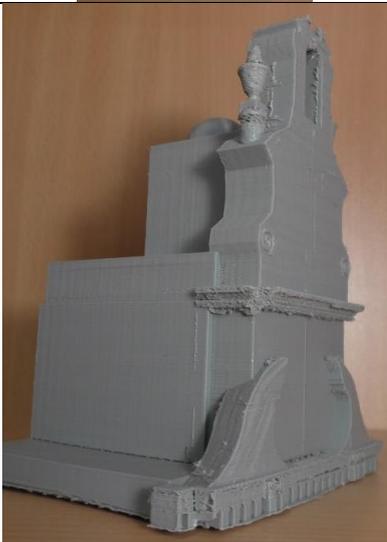
Para finalizar temos o preenchimento dos questionários, que está disponível na hiperligação:

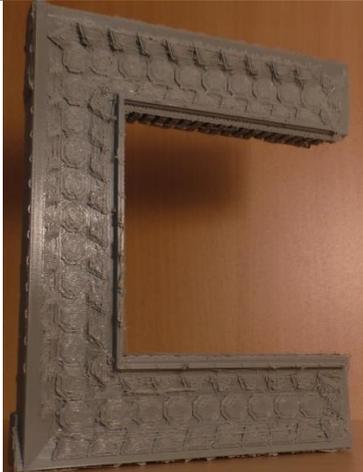
<https://goo.gl/forms/bakl2YCntsnUViWM2>

Deverá ser preenchido e submetido após a visita.

Anexo B

	<p>Janelão barroco e arco inferior com janela</p>
	<p>Empena do batistério ladeada por pilastras</p>

	<p>Pilar central de suporte</p>
	<p>Empena barroca que e casa do sineiro</p>



Teto de masseira do alpendre



Arcos abatidos com oculo central



Conjunto de todos os modelos 3D impressos em PLA, para serem utilizados na sala de aula