



Instituto Politécnico de Tomar

Escola Superior de Tecnologia de Tomar

JANELA DO CAPÍTULO EM 3D

Dissertação de Mestrado

Horácio Hugo Ferreira Faria de Azevedo e Silva

Mestrado em Produção de Conteúdos Digitais



Instituto Politécnico de Tomar

www.ipt.pt

Tomar / Setembro / 2015



Instituto Politécnico de Tomar
Escola Superior de Tecnologia de Tomar

Horácio Hugo Ferreira Faria de Azevedo e Silva

JANELA DO CAPÍTULO EM 3D

Dissertação de Mestrado

Orientado por:

Professor Coordenador Engenheiro José António Ribeiro Mendes – Instituto
Politécnico de Tomar

Professora Doutora Andreia Galvão – Convento de Cristo

Dissertação de Mestrado apresentada ao Instituto Politécnico
de Tomar para cumprimento dos requisitos necessários à
obtenção do grau de Mestre em Produção de Conteúdos Digitais

Dedicado à minha esposa e às minhas filhas.

RESUMO

O presente trabalho aborda a Janela do Capítulo – um dos elementos mais emblemáticos do estilo manuelino no Convento de Cristo em Tomar, património da Humanidade – através do levantamento 3D e da sua divulgação e restituição em formato digital.

Palavras-chave: Janela do Capítulo, Modelo 3D, Levantamento 3D, Fotogrametria, *ZBrush*.

ABSTRACT

This paper discusses the “Janela do Capítulo” – one of the most iconic elements of the “Manuelino” style at the “Convento de Cristo” in Tomar, world heritage – through 3D survey and its presentation and preservation in digital format.

Keywords: Janela do Capítulo, 3D Model, 3D Surveying, Photogrammetry, ZBrush.

AGRADECIMENTOS

Esta dissertação é o culminar de uma fase extremamente importante na minha vida. A motivação e interesse de algumas pessoas foram fatores importantes no decorrer deste processo. Em primeiro lugar quero agradecer à Engenheira Paula Silva (minha esposa) por estar ao meu lado em todas as circunstâncias. Da mesma forma agradeço ao Professor Doutor João Manuel Mourão Patrício (Diretor da Escola Superior de Tecnologia de Tomar) por todo o apoio que me deu.

Para a realização desta dissertação foi também indispensável o acompanhamento dos meus orientadores, o Professor Coordenador Engenheiro José António Ribeiro Mendes (Presidente do Conselho Técnico-Científico da Escola Superior de Gestão de Tomar) e a Professora Doutora Andreia Bianchi Aires de Carvalho Galvão (Diretora do Convento de Cristo).

Na fase de pesquisa de informação quero agradecer ao Arquiteto Jorge Morarji dos Remédios Dias Mascarenhas (Membro do Conselho Técnico Científico da Escola Superior de Tecnologia de Tomar), à Doutora Maria Teresa Ribeiro Pereira Desterro (Diretora da Licenciatura em Conservação e Restauro) e ao Rui Manuel da Silva Rodrigues Ferreira (Assistente Técnico da DGPC, Convento de Cristo).

Para concluir desejo agradecer todo o apoio do Doutor Victor Manuel Mota Ferreira (Faculdade de Arquitetura da Universidade de Lisboa) e também do Doutor Luís Miguel Cotrim Mateus (Faculdade de Arquitetura da Universidade de Lisboa).

Conteúdo

1 - Introdução	1
1.1 - Motivação	2
1.2 - Descrição do Problema e Desafios	3
1.3 - Estrutura do Documento	4
2 - Enquadramento Histórico da Janela do Capítulo	5
3 - Simbolismos da Janela.....	11
4 - Trabalho Relacionado	18
4.1 - Levantamento 3D - <i>Smithsonian X 3D</i>	18
4.2 - Reconstrução 3D - <i>Rome Reborn</i>	27
4.3 - Normas e Diretrizes Internacionais	30
4.3.1 - Carta de Cracóvia	30
4.3.2 - Carta de Londres	31
4.3.3 - Princípios de Sevilha.....	32
4.3.4 - Comissão Europeia.....	33
5 - Tecnologias de Levantamento 3D.....	34
5.1 - Varrimento <i>Laser (Laser Scanning)</i>	34
5.1.1 - Técnica de Contato.....	35
5.1.2 - Técnica Sem Contato	36
5.2 - Luz Estruturada	37
5.3 - Câmaras 3D	39
5.4 - Fotogrametria	41
6 - Resultados.....	47
6.1 - Levantamento 3D da Janela do Capítulo.....	47

6.1.1 - Microsoft Kinect	48
6.1.2 - Autodesk 123D Catch.....	56
6.1.3 - MeshLab	58
6.2 - Otimização do Modelo 3D	63
6.2.1 - Limpeza de Artefactos	64
6.2.2 - Criação do Modelo <i>Low Poly</i>	65
6.2.3 - Transferência de Textura Para o Modelo <i>Low Poly</i>	67
6.2.4 - Modelação do Gradeamento.....	72
6.3 - Aplicação Interativa em <i>Unity</i>.....	73
6.3.1 - Importação do Modelo da Janela	74
6.3.2 - Câmara e Iluminação.....	74
6.3.3 - <i>Shader</i> (Material)	75
6.3.4 - Rotação do Modelo da Janela.....	77
6.3.5 - Menu com a Simbologia da Janela.....	81
6.3.6 - Rotação do Elemento 3D Isolado.....	86
7 - Conclusão.....	88
7.1.1 - Aprendizagem	90
7.1.2 - Trabalho Futuro.....	92
8 - Bibliografia	93

Lista de Figuras

Figura 1: <i>Star Wars</i> - Nave Espacial <i>X-Wing</i> , Versão Manual (Esquerda, 1980),.....	1
Figura 2: Simulação de Dinâmicas Entre Objetos (Esquerda, Filme “ <i>Matrix Reloaded</i> ”, 2003),	2
Figura 3: Levantamento a <i>Laser</i> 3D das Casas Típicas de Karoo, África do Sul	3
Figura 4: Castelo Templário de Tomar.....	5
Figura 5: Convento de Cristo.....	6
Figura 6: Mata dos Sete Montes	6
Figura 7: Ermida de N. Sr ^a . da Conceição	7
Figura 8: Aqueduto dos Pegões	7
Figura 9: Localização do Convento de Cristo na Cidade de Tomar.....	8
Figura 10: Desenho da Fachada Poente da Igreja Manuelina do Convento de Cristo.	9
Figura 11: Janela do Capítulo - Convento de Cristo	10
Figura 12: Detalhe da Janela do Capítulo - Cruz de Cristo, Esferas Armilares	13
Figura 13: Detalhe da Janela do Capítulo - Peças Circulares Entrelaçadas que.....	14
Figura 14: Detalhe da Janela do Capítulo - 90 Quadros em Relevo	15
Figura 15: Detalhe da Janela do Capítulo - Toros Enrolados por Uma Guizeira.....	16
Figura 16: Detalhe da Janela do Capítulo - Toros Enrolados por Uma Cadeia	16
Figura 17: Detalhe Central da Janela do Capítulo - Busto e Tronco Seco	17
Figura 18: <i>Smithsonian X 3D</i> - <i>Wright Flyer</i> (1903).....	19
Figura 19: <i>Smithsonian X 3D</i> - <i>Gunboat Philadelphia</i>	20
Figura 20: <i>Smithsonian X 3D</i> - <i>Lincoln Life Mask</i>	21
Figura 21: <i>Smithsonian X 3D</i> - <i>Fossil Whale MPC 677</i>	22
Figura 22: <i>Smithsonian X 3D</i> - <i>Woolly Mammoth</i>	23

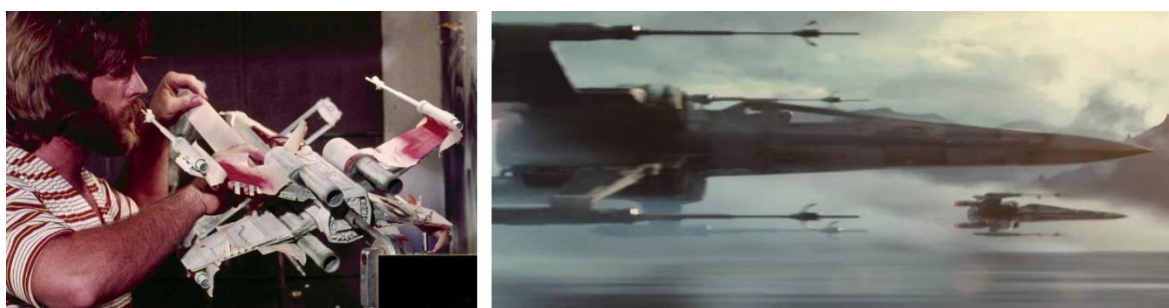
Figura 23: <i>Smithsonian X 3D - Eulaema Bee</i>	24
Figura 24: <i>Scanning and Printing a 3D Portrait of President Barack Obama</i> - Iluminação ..	25
Figura 25: <i>Scanning and Printing a 3D Portrait of President Barack Obama</i> - Modelo 3D Facial	26
Figura 26: <i>Scanning and Printing a 3D Portrait of President Barack Obama</i> – Impressão 3D	27
Figura 27: Vista Aérea ("Coliseu") - <i>Rome Reborn</i> Versão 2.2	28
Figura 28: Vista Aérea Sobre o Centro da Cidade - <i>Rome Reborn</i> Versão 2.2.....	29
Figura 29: Campo de Visão de Diferentes Lentes	34
Figura 30: <i>Scanner</i> de Contato	36
Figura 31: <i>FARO Laser Scanner</i> - Espelhos Rotativos ao Centro	37
Figura 32: Digitalização com o <i>David Laser Scanner SLS-2</i> , Onde se Evidenciam as Faixas Alternadas em Preto e Branco	38
Figura 33: Processo de Captura de Imagem com Luz Estruturada.....	38
Figura 34: Câmera <i>Microsoft Kinect</i>	40
Figura 35: Grelha de Pontos IR (Esquerda) e Mapa de Profundidade (Direita).....	40
Figura 36: Visão Estereoscópica Humana.....	42
Figura 37: Modelo 3D Humano Digitalizado por Fotogrametria - <i>TEN24</i>	43
Figura 38: Estúdio de Fotogrametria Profissional da <i>Infinite-Realities</i>	44
Figura 39: <i>Autodesk 123D Catch</i>	45
Figura 40: <i>Agisoft PhotoScan</i>	46
Figura 41: Desenho da Fachada Poente do Convento de Cristo	48
Figura 42: <i>Xcode</i>	49
Figura 43: Instalação do <i>CMake</i> e <i>Command Line Links</i>	50
Figura 44: Instalação da Livraria <i>Libtool</i>	51
Figura 45: Instalação da Livraria <i>Libusb</i>	51

Figura 46: Início da Instalação do Programa <i>OpenKinect</i>	52
Figura 47: <i>Settings</i> de Instalação do Programa <i>OpenKinect</i>	53
Figura 48: Conclusão da Instalação do Programa <i>OpenKinect</i>	54
Figura 49: Resultado da Instalação da <i>Kinect</i> com o Programa <i>GLView</i>	54
Figura 50: Primeiros Resultados de Digitalização 3D com Recurso à Câmara <i>Kinect</i>	55
Figura 51: Modelo da Janela do Capítulo com Recurso ao <i>Software Autodesk 123D Catch</i> ...	56
Figura 52: Localização no Espaço Tridimensional dos Diferentes Registos Fotográficos	57
Figura 53: Primeira Importação do Modelo 3D em formato PLY no <i>MeshLab</i>	58
Figura 54: Eliminação de Geometria Isolada	59
Figura 55: Parametrização do Modelo.....	60
Figura 56: <i>Settings</i> para a Parametrização.....	60
Figura 57: Criação do Ficheiro com a Textura do Modelo	61
Figura 58: Textura Criada com a Informação de Cor de Cada Triângulo.....	62
Figura 59: Exportação do Modelo 3D da Janela	62
Figura 60: Opções para Gravar o Ficheiro	63
Figura 61: Personagem 3D Modelada em <i>ZBrush</i>	64
Figura 62: Eliminação de Artefactos na Geometria do Modelo.....	64
Figura 63: Modelo Inicial Importado para o <i>ZBrush</i>	65
Figura 64: Eliminação de Artefactos Resultantes da Fotogrametria.....	65
Figura 65: Eliminação da Geometria do Gradeamento	65
Figura 66: Importação da Textura	66
Figura 67: <i>Decimation Master</i>	66
Figura 68: Modelo sem <i>UV's</i>	66
Figura 69: Modelo Inicial com 4,36 Milhões (Esquerda),	67
Figura 70: Modelo 3D da Janela <i>High Poly</i> com Textura e <i>Low Poly</i> sem Textura.	67
Figura 71: Subdivisão do Modelo e Criação de “ <i>Morph Target</i> ”	68

Figura 72: Projeção dos Pormenores da Textura/Cor do Modelo <i>High Poly</i> para o <i>Low Poly</i>	69
Figura 73: Modelo <i>LowPoly</i> com a Textura Projetada.....	69
Figura 74: Criação de <i>UV Map</i>	70
Figura 75: Textura Criada a Partir do <i>Polypaint</i> do Modelo <i>Low Poly</i>	70
Figura 76: Primeiro Elemento da Janela a ser Reconstruído (à Esquerda o Modelo da Cruz..	71
Figura 77: Modelação do Gradeamento em <i>Maya</i>	72
Figura 78: Diferenças Entre a Versão Gratuita e Profissional do <i>Unity</i>	73
Figura 79: Divisão Automática do Modelo em 13 Partes	74
Figura 80: <i>Settings</i> de Câmara e Luz.....	75
Figura 81: Conjunto dos Vários Elementos da Aplicação.....	75
Figura 82: <i>Shader</i> de Pedra	76
Figura 83: Moldura com <i>Shader</i> Transparente.....	77
Figura 84: Pintura em <i>ZBrush</i> de Cada Elemento Simbólico.....	81
Figura 85: Material com a Textura da Janela	82
Figura 86: Menu com a Simbologia da Janela	82
Figura 87: <i>Interface</i> Principal da Aplicação.....	85
Figura 88: Visualização 3D do Símbolo.....	86
Figura 89: <i>Workflow</i> Utilizado	91

1 - Introdução

A atualidade tecnológica apresenta surpreendentes avanços nas mais diversas áreas. Com a evolução da capacidade de processamento¹, gestão e armazenamento de grandes quantidades de informação é possível elevar o grau de exigência em variadas tarefas e transpor limites. Também a área da computação gráfica não é exceção, esta tem acompanhado a evolução do *hardware*. Atualmente é possível gerir imagens de vários Gigabyte ($2^{30} = 1\,073\,741\,824$ byte) enquanto que à duas décadas dificilmente se fazia a gestão de uma imagem de poucos Kilobyte ($2^{10} = 1024$ byte). Como exemplo, esta evolução levou a computação gráfica ao cinema e os efeitos especiais antes produzidos em estúdio são hoje executados por computador. As naves espaciais da saga *Star Wars* feitas por processos manuais² na década de 80 pela *Industrial Light & Magic (ILM)* são hoje modeladas em 3D por computador (**Figura 1**).



Fontes: *The Chive*, <http://thechive.com/2015/02/19/up-close-with-the-original-models-of-the-star-wars-trilogy-33-hq-photos>;
The Verge, <http://www.theverge.com/2014/11/28/7302795/what-the-star-wars-episode-vii-trailer-tells-us-about-the-galaxy>

Figura 1: *Star Wars* - Nave Espacial X-Wing, Versão Manual (Esquerda, 1980), Versão Digital (Direita, 2015)

Enquanto isto é possível calcular complexas simulações dinâmicas entre objetos como explosões onde antes se recorria a perigosos explosivos, simulações de fluídos baseadas no comportamento físico real dos mesmos (**Figura 2**), produzir e gerir modelos com vários milhões de polígonos para impressão 3D.

¹ Lei de *Moore*, <http://www.moorelaw.org>, visitado em Julho de 2015

² Os modelos originais da trilogia *Star Wars*, <http://thechive.com/2015/02/19/up-close-with-the-original-models-of-the-star-wars-trilogy-33-hq-photos>, visitado em Julho de 2015



Fontes: *Dailymotion*, http://www.dailymotion.com/video/xgy609_vfx-breakdown-matrix-reloaded-truck-collision-shot_creation; *Popular Science*, <http://www.popsci.com/entertainment-gaming/article/2008-02/and-oscar-goes-fluid-simulation-algorithms?image=6>

Figura 2: Simulação de Dinâmicas Entre Objetos (Esquerda, Filme “*Matrix Reloaded*”, 2003), Simulação de Fluidos (Direita, Filme “*The Day After Tomorrow*”, 2004)

A aplicação da computação gráfica está presente num espectro abrangente, da educação ao entretenimento, da engenharia à medicina e ciência em geral até à arquitetura e património histórico. Torna-se fundamental na preservação em suporte digital dos mais variados elementos históricos, sejam eles grandes monumentos até a pequenos objetos, que já não existem ou se encontram em degradação.

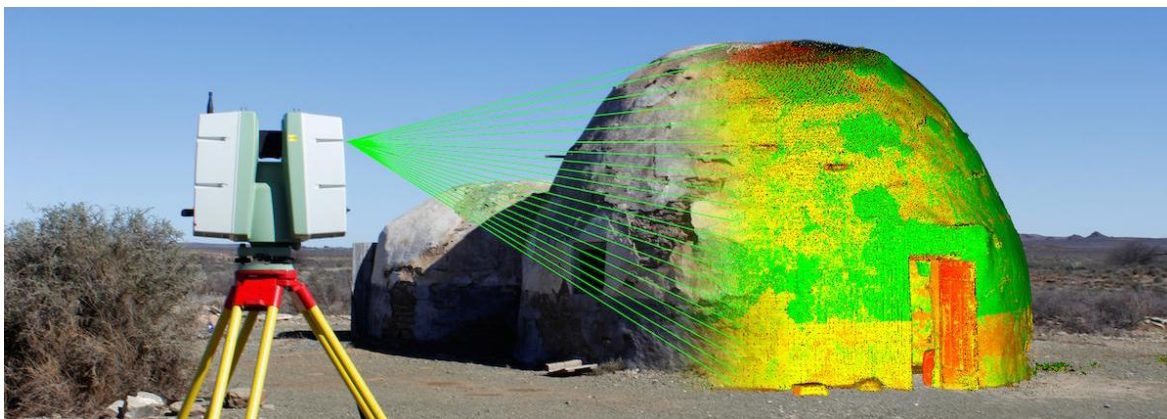
A presente dissertação baseia-se assim no levantamento 3D da Janela do Capítulo (magnífica obra do estilo Manuelino e inserida no Convento de Cristo que é Património da Humanidade¹), na abordagem do modelo 3D gerado, tendo como objetivo a sua restituição e utilização digital.

1.1 - Motivação

Os recentes avanços tecnológicos e novas técnicas de digitalização 3D tem vindo a ganhar popularidade, não só no âmbito da investigação mas também ao utilizador comum. No campo profissional existem atualmente poderosos digitalizadores *laser* com a capacidade de reconstruir virtualmente e com precisão grandes áreas e monumentos² (**Figura 3**).

¹ Convento de Cristo, <http://www.conventocristo.pt>, visitado em Julho de 2015

² CyArk, <http://www.cyark.org>, visitado em Julho de 2015



Fonte: *The Heritage Portal*, <http://www.heritageportal.co.za/article/documenting-karoo-corbelled-houses-using-3d-laser-scanning-michelle-dye>

Figura 3: Levantamento a Laser 3D das Casas Típicas de Karoo, África do Sul

No entanto estas tecnologias começam a propagar-se ao utilizador comum com o surgimento de aplicações móveis como o *Trnio*¹ ou o *Autodesk 123D Catch*², entre outras. Estas já contam com pequenas redes sociais de partilha de modelos 3D criados a partir de *smartphones* com base em fotografias. Com vasta experiência no campo da produção de modelo e imagem 3D a partir de *software* especializado, surgiu o interesse em explorar algumas destas novas tecnologias no campo do património histórico, qual delas a mais adequada para a finalidade e também, de que forma se poderia trabalhar o modelo 3D gerado pela perspetiva artística e sua utilização na área dos conteúdos digitais.

1.2 - Descrição do Problema e Desafios

Este trabalho procura fazer o levantamento 3D da Janela do Capítulo, encontrar a solução mais adequada e menos dispendiosa e abordar o modelo gerado para a sua utilização em aplicações digitais. A solução encontrada procura responder à questão:

Será possível fazer o levantamento 3D da Janela do Capítulo com precisão e utilizar o modelo gerado em aplicações digitais?

¹ *TRNIO*, <http://www.trnio.com>, visitado em Julho de 2015

² *Autodesk 123D*, <http://www.123dapp.com>, visitado em Julho de 2015

A hipótese apresenta os seguintes desafios:

- Recolha de informação básica como: representações planimétricas (plantas, cortes e alçados), desenhos com pormenores construtivos da época da Janela do Capítulo e informação histórica com o enquadramento simbólico;
- Escolha da tecnologia mais adequada para o levantamento 3D da janela tendo em conta a seu acesso ao utilizador comum em termos de custo e utilização, precisão do modelo 3D gerado e reconstrução da textura original;
- Limpeza de artefactos resultantes, isolar, esculpir e melhorar superfícies com defeitos. Modelação do gradeamento;
- Criação de modelo *Low Poly* (reduzido numero de polígonos);
- Transferência da textura do modelo original para o *Low Poly*;
- Utilização do modelo final no *software Unity* (limitações ao numero de polígonos). Técnica para destacar os elementos simbólicos na janela e respetiva codificação relacionada com *shaders*, texturas e rotação de objetos 3D.

1.3 - Estrutura do Documento

O presente trabalho tem a seguinte estrutura: introdução, enquadramento histórico e simbolismos da Janela do Capítulo, nos primeiros três capítulos. No capítulo 4 é abordado o trabalho relacionado com o levantamento e reconstrução 3D e as normas internacionais estabelecidas. Já no capítulo 5 apresenta-se uma secção científica onde se destacam diferentes tecnologias de levantamento 3D e as suas principais aplicações. Os resultados da fotogrametria efetuada à Janela do Capítulo e a utilização do modelo 3D no *Unity* são apresentados no capítulo 6. Por fim é apresentada a conclusão.

2 - Enquadramento Histórico da Janela do Capítulo

Convento de Cristo é o nome pelo qual é geralmente conhecido o conjunto monumental constituído pelo Castelo Templário de Tomar (**Figura 4**) e o convento da Ordem de Cristo (**Figura 5**). Na sua envolvente existe a Mata dos Sete Montes (**Figura 6**), a Ermida da Imaculada Conceição (**Figura 7**) e o Aqueduto dos Pegões (**Figura 8**). Segundo alguns autores o castelo teve a sua fundação em 1160 e compreendia a vila murada, o terreiro e a casa militar situada entre a casa do Mestre, a Alcáçova, e o oratório dos cavaleiros em rotunda e a Charola (“Convento de Cristo,” 2015).



Fonte: Estátuas Vivas, <http://www.estatuasvivas.com/pt/tomar>

Figura 4: Castelo Templário de Tomar



Fonte: Estátuas Vivas, <http://www.estatuasvivas.com/pt/tomar>
Figura 5: Convento de Cristo



Fonte: Convento de Cristo, <http://www.conventocristo.pt/pt/index.php?s=white&pid=189>
Figura 6: Mata dos Sete Montes



Fonte: Convento de Cristo, <http://www.conventocristo.pt/pt/index.php?s=white&pid=190>

Figura 7: Ermida de N. Sr.ª. da Conceição

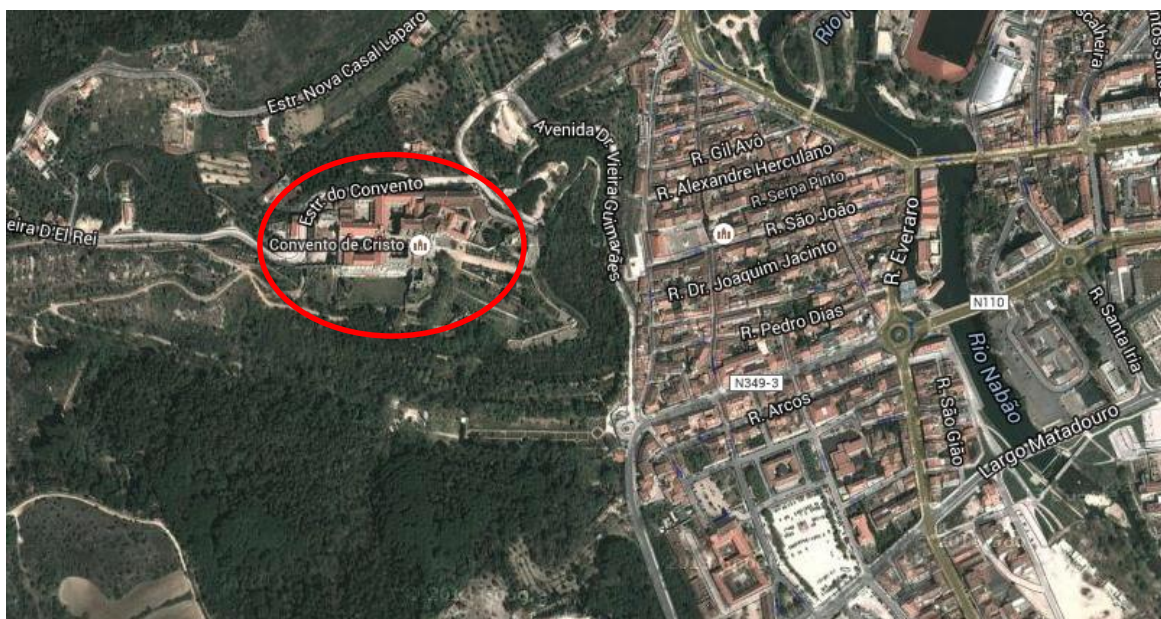


Fonte: Estátuas Vivas, <http://www.estatuasvivas.com/pt/tomar>

Figura 8: Aqueduto dos Pegões

Em 1420, com o castelo então sede da Ordem de Cristo, o Infante D. Henrique, o Navegador, inclui na casa militar um convento, para o ramo de religiosos contemplativos que ele introduz na Ordem de Cristo e adapta a Alcáçova para sua casa senhorial (“Convento de Cristo,” 2015).

No início do século XVI, D. Manuel I, Rei e Governador da Ordem de Cristo amplia a Rotunda templária para ocidente, com uma nova construção extramuros, a qual inicia um discurso decorativo que celebra as descobertas marítimas portuguesas, a mística da Ordem de Cristo e da Coroa numa grandiosa manifestação de poder e de fé. É nesta fase construída a Janela do Capítulo, elemento icónico da identidade nacional (“Convento de Cristo,” 2015). A partir de 1531, com a reforma da Ordem de Cristo, por D. João III, vai ser construído o grandioso convento do renascimento, contra o flanco poente do castelo, e rodeando a Nave Manuelina. Posteriormente é construído o aqueduto com cerca de 6 km de extensão, com Filipe II de Espanha e os edifícios da Enfermaria e da Botica no tempo da guerra da Restauração (“Convento de Cristo,” 2015). O conjunto destes espaços (**Figura 9**), construídos ao longo de séculos, faz do Convento de Cristo um grandioso complexo monumental que mereceu a classificação de Património da Humanidade, pela UNESCO.

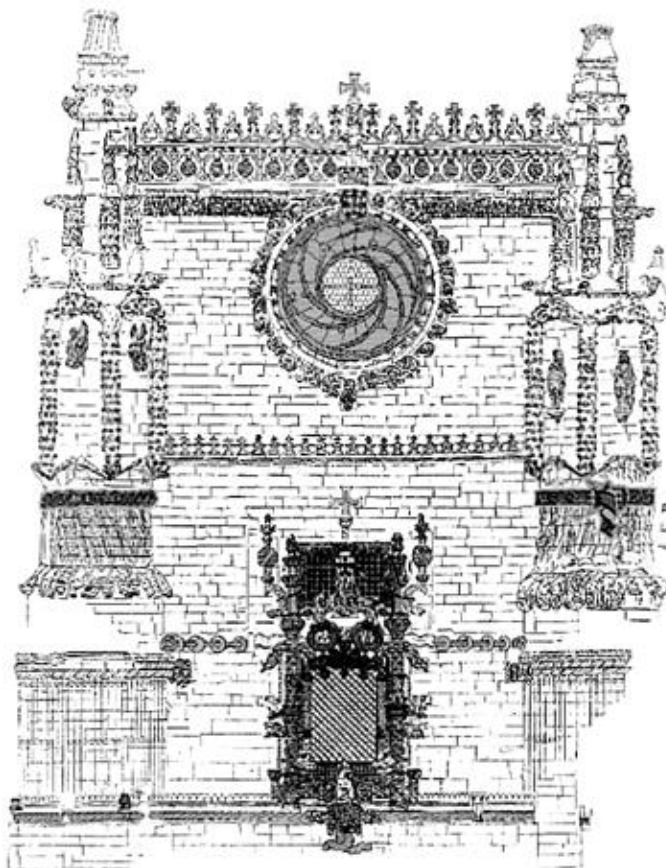


Fonte: Google Maps

Figura 9: Localização do Convento de Cristo na Cidade de Tomar

No Convento de Cristo a nave manuelina, obra de Diogo de Arruda (**Figura 10**) do século XVI (1510-1513) concluída por João de Castilho (1513-1515), dotou a igreja conventual de espaços mais amplos para a função litúrgica e deu-lhe a configuração de igreja regular com planta longitudinal. Surge assim, a continuar a Charola, um espaço de assembleia, com a nova entrada a sul, uma sala para sacristia em piso de meia-cave e, por cima desta, um

entrepiso sobranceiro à assembleia, destinado a coro da igreja. Este espaço ficou conhecido como Coro Alto e a sacristia como Sala do Capítulo. É nesta sala, e incorporada na fachada exterior ocidental da nave, que está a famosa Janela do Capítulo, símbolo da expansão marítima portuguesa e da conceção imperial que o Rei Venturoso tinha para Portugal (“Convento de Cristo,” 2015).



Fonte: Tomar Terra Templária, <http://www.ttt.ipt.pt/index.php?nivel=2&m=43>
Figura 10: Desenho da Fachada Poente da Igreja Manuelina do Convento de Cristo.
Projeto de Diogo de Arruda, Entre 1510 e 1514

A Nave manuelina, tanto internamente como exteriormente, é guarnecida de uma profusa ornamentação escultórica simbólica, heráldica e sacra. Todos os elementos arquitetónicos, cimalha, pináculos, contrafortes, janelas, etc., são envoltos numa profunda plasticidade que os temas figurativos lhes conferem, a ponto de dissimularem as suas funções arquitetónicas e estruturais (“Convento de Cristo,” 2015).

O caso mais emblemático deste tratamento formal, são as janelas da sacristia manuelina dita "Casa do Capítulo". Inicialmente em número de três, chegaram aos nossos dias duas: Uma, em segunda luz, virada a sul, é visível do Claustro Principal, a outra, na fachada ocidental, é a famosamente conhecida por Janela do Capítulo (**Figura 11**).



Figura 11: Janela do Capítulo - Convento de Cristo

Ladeada por dois gigantescos contrafortes, ou botaréis, esta janela é ornada por um exuberante universo figurativo onde estão presentes os temas de marinhagem as insígnias da Ordem e figurações simbólicas, particulares à mística da Cavalaria Espiritual e à missão que a Ordem de Cristo tinha na empresa das Descobertas (“Convento de Cristo,” 2015).

3 - Simbolismos da Janela

A característica predominante do Manuelino é a exuberância de formas e uma forte representação naturalista-simbólica de temas originais, eruditos ou tradicionais. O conjunto decorativo de um elemento escultórico manuelino apresenta-se quase sempre como um discurso de pedra, onde diversos elementos e referências se cruzam como o simbolismo cristão, a alquimia, a tradição popular entre outros. O contexto tanto pode ser moralizante, como alegórico, jocoso, oculto ou, simplesmente, propagandístico em relação ao poder imperial de D. Manuel I (Pereira, 1990).

Segundo Pereira, há no manuelino uma convocação dos elementos de vida material e da vida luxuosa e cortesã, uma evocação do que é efémero numa verdadeira encenação da arquitetura. Os elementos são justapostos, confundidos, multiplicados e exagerados, como se de um excesso se tratasse. Os objetos da Natureza são apresentados não tal como os encontramos no Mundo, mas sim ampliados, deformados e recombinaados e sobretudo exibidos com uma intensidade saturante.

O conjunto dos ornamentos da janela dão a ideia de ter sido uma sucessiva montagem de adereços e de peças de ourivesaria, adicionados à vegetação exuberante dos toros. Vislumbra-se um desenho de base ao qual se vão acrescentado motivos que facilmente se decompõem (Pereira, 1990).

Poder-se-á fazer uma observação formal da janela tendo por base a leitura iconográfica da fachada onde esta se insere, tendo em atenção o enunciado clássico do manuelino. Desta forma coube a Ramalho Ortigão descrever o conjunto em causa recorrendo a imagens e intuições interpretativas que ainda hoje se mantêm válidas (Guimarães, 1927).

Ortigão viu representados “polipeiros de coral”, algas, sobreiros, o roble, varas de sobro, azinho, folhagem, no que se refere ao temático vegetalista; depois as ondas do mar, as guizeiras, sólidas correntes e cabos de bordo, discos ou boias de cortiça, argolões, velas de um galão; e a árvore santa, a árvore da Bíblia, a árvore de Jesus, já noutros domínios de simbólico.

Se estão certas algumas interpretações outras nem tanto, tendo em consideração a crítica de *Paul Evin* (Evin, 1985). Desta forma pode-se assentar no seguinte critério, quanto aos temas

que aparecem na fachada/janela, fazendo-se para tal um balanço conciliatório das teses contraditórias desenvolvidas até então:

Elementos Naturais:

- O Sobreiro (tronco descascado dos botaréis, raízes)
- O Roble ou Carvalho (tronco cortado e seco sobre o busto)
- Vegetação variada a saber: alcachofras, cápsulas de “*papaver somnifer*”; folhas de cato, troncos nodosos;
- Algas (motivos enrolados sobre o vão, “sobrancelhas”)

Elementos artefactuais:

- Corda;
- Cadeias, correntes;
- Guizeiras, guizos (elementos de ligação, enfeites, brincos de “harpia”);
- *Piecettes* (que podem ser interpretadas como bóias de cortiça ou argolas de reposteiro)
- Coxim (capialço ou óculo)
- Peças de ourivesaria (anéis, manilhas, colares, fivelas, colar de cadeia, recorte de conópia);

Elementos heráldicos:

- Cruz de Cristo;
- Esfera Armilar;
- Escudo de Portugal;
- Anjos tenentes (botaréu esquerdo);
- Reis de Armas ou Arautos (guerreiros do botaréu direito);
- Fivelas (emblema da Ordem da Jarreteira);
- Colar de Cadeia (emblema);

Figuração humana:

- Bustos barbados (atualmente três);

Figuração fantástica:

- Harpia (base do óculo);
- Dragão;
- Gárgulas (temas avulsos, animalistas).

Deste impressionante somatório de fontes visuais fica um panorama complexo em termos formais de possíveis interpretações para quem se deleita a observar os pormenores da fachada/janela do Capítulo, uma vez que há estudos contraditórios quanto ao significado dos elementos representados na mesma (Pereira, 1995).

Passamos para a descrição mais pormenorizada da fachada da Janela do Capítulo. Segundo Pereira a fachada organiza-se entre dois grandes contrafortes. No eixo central, ostentado por um óculo, a janela apresenta um emolduramento sobrecarregado de decoração vegetativa, sendo coroada pela Cruz de Cristo, ladeada por duas esferas armilares, cada uma sobre um toro de “árvore seca” em forma de “?” invertido e coroada com pináculo floral, ambos presos por duas correntes aos dois toros principais da emolduração da janela (**Figura 12**).



Figura 12: Detalhe da Janela do Capítulo - Cruz de Cristo, Esferas Armilares

Ao centro evidenciam-se duas peças circulares entrelaçadas que prendem um ramo de algas em forma de “M” curvo, fechado em baixo (**Figura 13**), e com um enrolamento desenvolvendo-se para cima, para culminar no eixo da janela, bem no topo com uma cruz de Cristo.

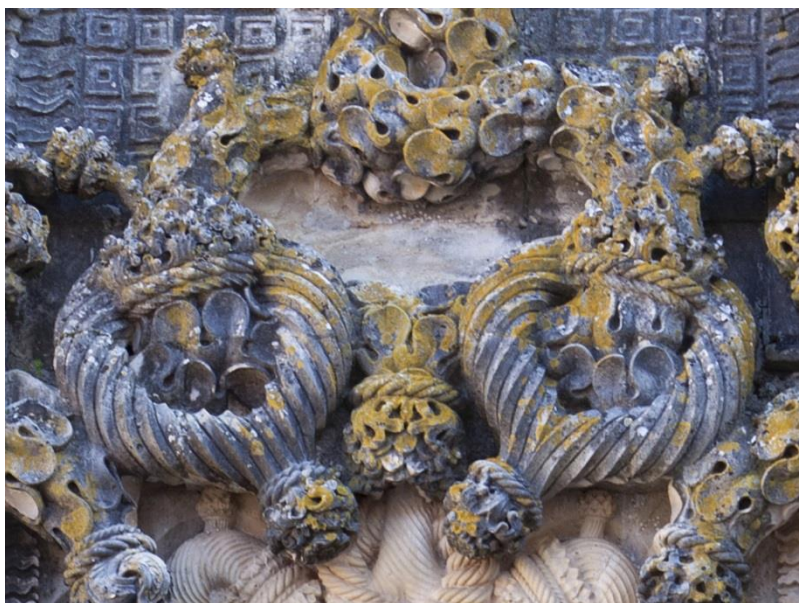


Figura 13: Detalhe da Janela do Capítulo - Peças Circulares Entrelaçadas que Prendem um Ramo de Algas em Forma de “M” Curvo

Assim tudo isto se inscreve sobre e em redor de uma enigmática figura retangular preenchida de quadros em relevo (**Figura 14**) que recebem o emolduramento discreto de motivos ondulantes que correm à volta de toda a janela (Pereira, 1990).



Figura 14: Detalhe da Janela do Capítulo - 90 Quadros em Relevo

No plano inferior inscreve-se o vão da janela, com recorte conopial formado por elementos entrelaçados agregados entre si por “colares”. A moldura é constituída por um toro de “árvore seca”, enquanto os dois toros maiores que os acompanham e que correm de baixo para cima, são forrados de vegetação variada. Na base destes, de cada lado, um nó em corda grossa. Agarrados aos toros por uma guizeira (à esquerda) (**Figura 15**) e uma cadeia (à direita) (**Figura 16**), inscrevem-se dois troncos de carvalho arrancados pela raiz e que constituem o altar hiper-realista de dois nichos destinados a receber imagens de vulto inteiro (Pereira, 1990).

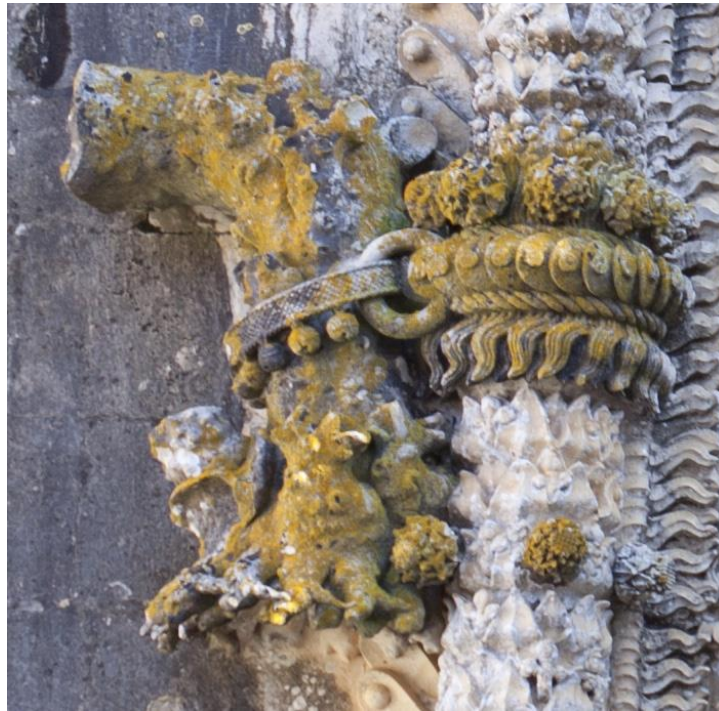


Figura 15: Detalhe da Janela do Capítulo - Toros Enrolados por Uma Guizeira (Lado Esquerdo da Janela)



Figura 16: Detalhe da Janela do Capítulo - Toros Enrolados por Uma Cadeia (Lado Direito da Janela)

Em baixo, na base da janela, corre um grande toro horizontal onde se encravam os dois maiores (na vertical) e, na zona mediana, um tronco cortado em carvalho. Este tronco seco, continua para baixo, mostrando as suas raízes, no meio das quais se encontra o busto de um homem de barbas, de meia idade, com chapéu quinhentista ornamentado com uma flor na frente, segurando os pés da raiz e entalado num nó formado pelo prolongamento da última cornija em forma de corda (**Figura 17**). O busto mostra bom perfil anatómico mas um dos olhos é visivelmente defeituoso, revelando um estrabismo divergente na figura (Pereira, 1990).



Figura 17: Detalhe Central da Janela do Capítulo - Busto e Tronco Seco

Numa análise geral o conjunto dá a impressionante ideia de ter sido uma sucessiva montagem de “adereços e de peças de ourivesaria”, adicionados à vegetação exuberante dos toros (Pereira, 1990).

Não há uma interpretação única e verdadeira para o esquema apresentado na janela. Torna-se então necessário entender da melhor forma a decisão formal que envolveu a idealização da janela (Pereira, 1990).

4 - Trabalho Relacionado

Muitas são as tecnologias existentes atualmente no domínio do levantamento e reconstrução 3D. Para executar um levantamento é necessário fazer a análise de uma superfície de um objeto ou ambiente, de forma a perceber a que distância se encontra cada ponto nessa mesma superfície. As técnicas variam desde a triangulação de pontos de luz projetados numa superfície até à análise sequencial de fotografias de diversos ângulos. Existe uma escolha diversificada, algumas tecnologias são mais dispendiosas, no entanto, com o crescente número de utilizadores na área da digitalização 3D, algumas destas tecnologias vão ficando mais acessíveis. A reconstrução 3D também verifica uma maior utilização das tecnologias para reconstruir e preservar todo o tipo de tesouros do património histórico em formato digital. Isto permite a criação de conhecimento à escala global, bem como a transmissão de todo este conhecimento às futuras gerações.

4.1 - Levantamento 3D - *Smithsonian X 3D*

Fundado em 1846 nos Estados Unidos, o *Smithsonian*¹ é o maior complexo de museus e de investigação do mundo, composto por 19 museus e galerias, o *National Zoological Park* e 9 instalações de investigação. O recente lançamento tecnológico mais aguardado foi o *Smithsonian X 3D*², um interface baseado na *web* que permite a qualquer utilizador visualizar, partilhar e até imprimir em 3D dezenas de modelos de alguns artefactos mais notáveis do *Smithsonian*. Esta tecnologia permite que investigadores possam partilhar modelos com outros colegas para análise, professores podem agora usar objetos virtuais nas aulas e os utilizadores podem ter acesso a muitos objetos do *Smithsonian* que não estão expostos fisicamente devido a limitações com espaço.

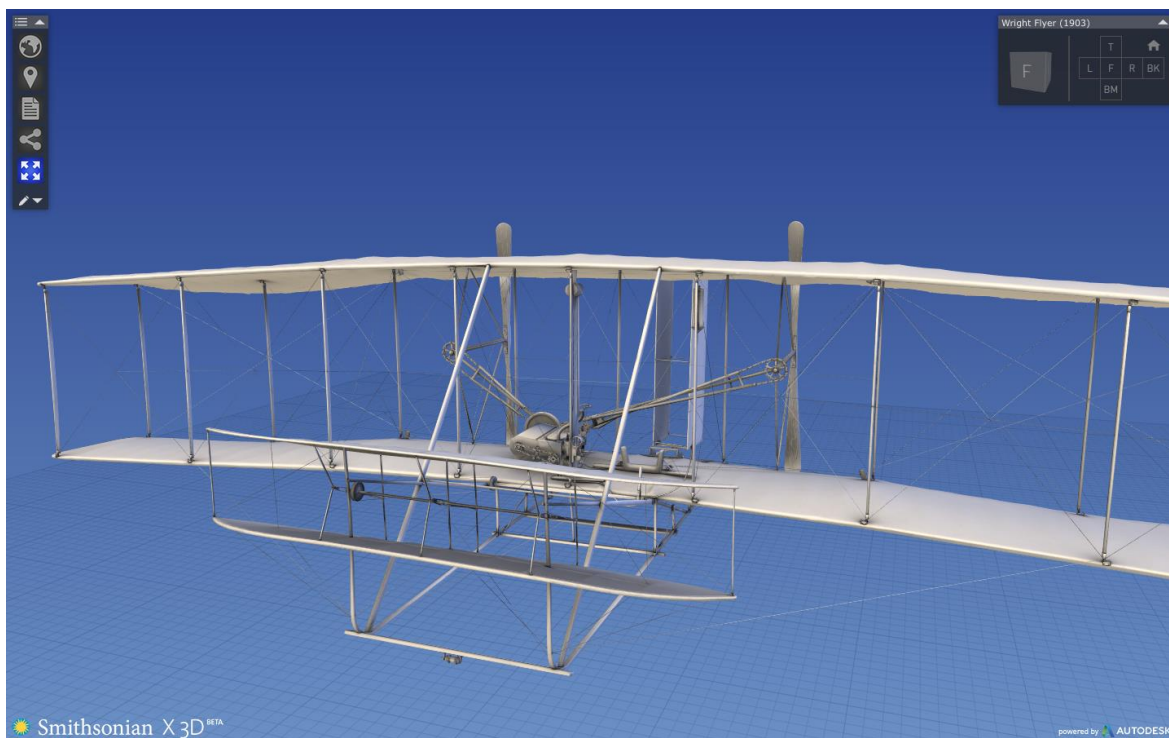
É também possível fazer o *download* da informação dos objetos em alta resolução permitindo a qualquer utilizador a criação de réplicas pela impressão 3D.

A lendária aeronave construída pelos irmãos *Wright* voou com sucesso por cima de *Kitty Hawk* nos Estados Unidos em 1903. Em 1948 foi adquirida pelo *Smithsonian* e tem estado

¹ *Smithsonian*, <http://www.si.edu/About>, visitado em Julho de 2015

² *Smithsonian X 3D*, <http://3d.si.edu/browser>, visitado em Julho de 2015

constantemente exposta ao público desde então. Como é de esperar os visitantes não podem tocar na aeronave. Engenheiros e historiadores enfrentaram limitações pela inacessibilidade ao modelo real para examinar a maquinaria ou tirar medidas para examinar as suas características. Agora é possível a qualquer utilizador com internet aceder ao modelo e imprimir uma réplica em qualquer escala (**Figura 18**).



Fonte: *Smithsonian X 3D*, <http://3d.si.edu/browser>
Figura 18: *Smithsonian X 3D - Wright Flyer (1903)*

Esta tecnologia é o resultado de anos de trabalho de *Vince Rossi*, *Adam Metallo* e da equipa do *Digitization Program Office*¹ do *Smithsonian*. Cada modelo é uma versão simplificada da “*point cloud*”² – milhares de pontos que formam uma superfície 3D – recolhida usando ferramentas de levantamento 3D (*3D scanning tools*). A atual “*point cloud*” é demasiado grande para ser disponível no *browser* sendo necessário aplicar uma compressão digital.

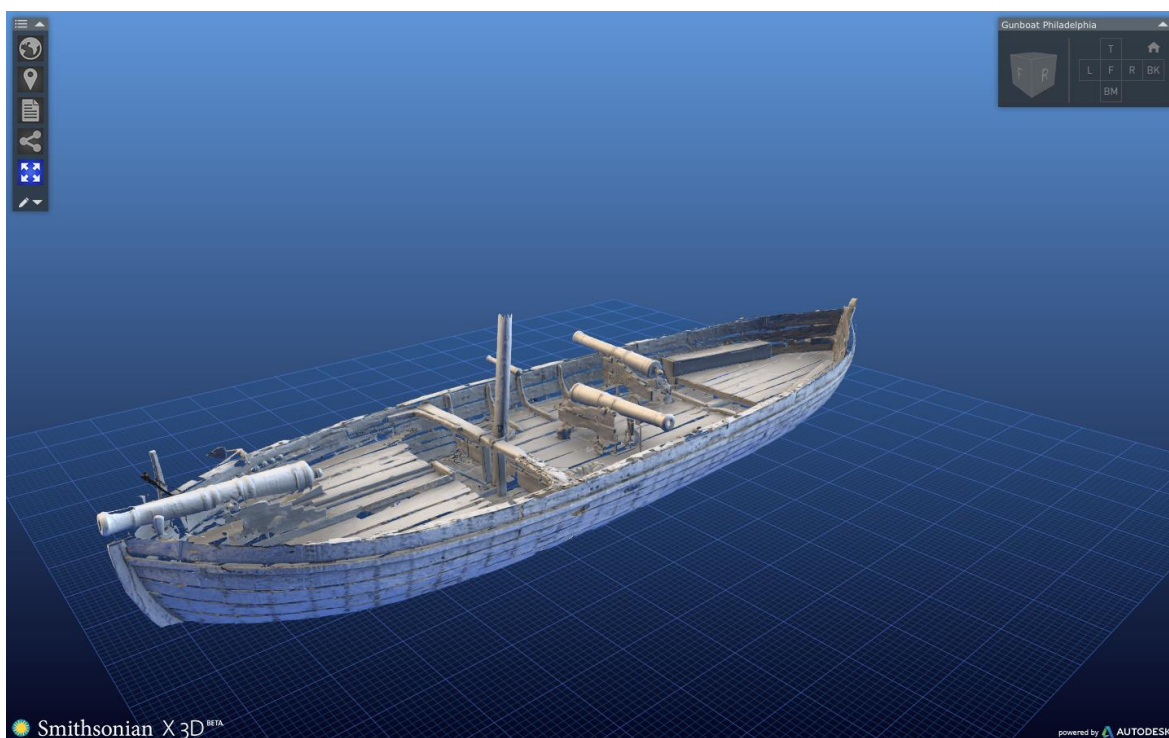
“Um jogo com gráficos 3D apresenta objetos formados por polígonos, da mesma forma que o *Smithsonian X 3D*,” comenta *Vince Rossi*. Na sua essência os contornos de um objeto são

¹ *Digitization Program Office*, <http://dpo.si.edu>, visitado em Julho de 2015

² *Renderman*, <http://renderman.pixar.com/view/point-clouds>, visitado em Julho de 2015

reconstituídos e compostos por milhares de triângulos, formando uma superfície 3D. Estes triângulos podem ser representados em duas dimensões, onde se pode adicionar cor e textura, formando o *shader*¹ da superfície do objeto, capturando assim os detalhes visuais do original. Tudo isto num ficheiro com o tamanho reduzido o suficiente para ser lido por um *web browser*².

No modelo “*Gunboat Philadelphia*” (**Figura 19**), o utilizador pode examinar a textura das tábuas e observar os buracos provocados pelas bolas de canhão britânicas em 1776.



Fonte: *Smithsonian X 3D*, <http://3d.si.edu/browser>
Figura 19: *Smithsonian X 3D - Gunboat Philadelphia*

O visualizador permite aos utilizadores explorar os modelos em detalhe. É possível rodar os objetos e isolar diferentes componentes, medir qualquer parte com ferramentas disponíveis para essa tarefa. É também possível criar vistas específicas que podem ser partilhadas nas redes sociais ou incorporadas em qualquer página *web* ou *blog* como um vídeo.

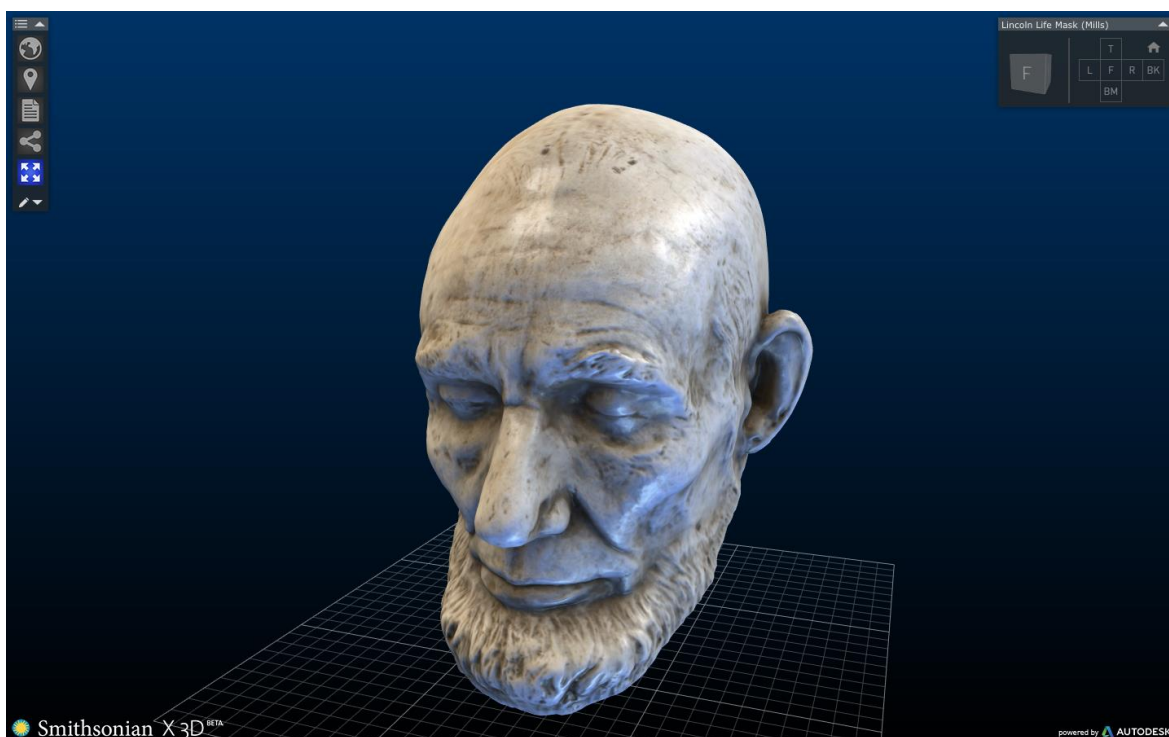
¹ VALVE, <https://developer.valvesoftware.com/wiki/Shader>, visitado em Julho de 2015

² BBC, <http://www.bbc.co.uk/webwise/0/22562353>, visitado em Agosto de 2015

Torna também possível fazer uma visita guiada pelo objeto, com texto, imagens e vídeo como complemento, permitindo aos utilizadores aprender o passado científico e histórico associado ao objeto.

O *Digitization Program Office* observa um vasto potencial para o uso destes modelos: Os professores podem usá-los como ferramentas educativas, investigadores podem usá-los para analisar os próprios artefactos e partilhar com os colegas, e acima de tudo, irão permitir ao público apreciar facilmente milhões de objetos do *Smithsonian*, alguns expostos, outros em arquivos escondidos.

Outrora eram feitas máscaras – como a de *Abraham Lincoln* (**Figura 20**) feita logo após a sua morte – que agora são substituídas pela captura digital em 3D feita com *lasers* e *software* específico.

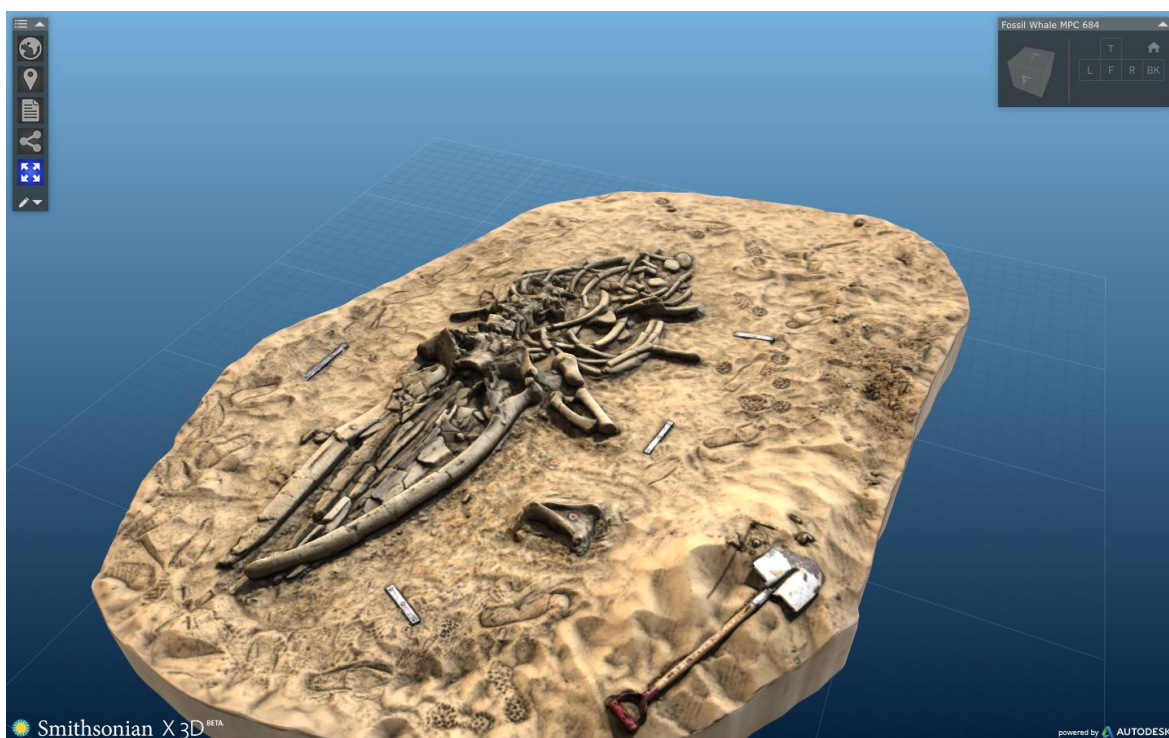


Fonte: *Smithsonian X 3D*, <http://3d.si.edu/browser>
Figura 20: *Smithsonian X 3D - Lincoln Life Mask*

Para além das versões comprimidas destes artefactos disponíveis no *Smithsonian X 3D*, o *Digitization Program Office* também tornou disponível as versões dos modelos 3D em alta resolução. Desta forma os utilizadores podem imprimir em 3D os objetos com todos os pormenores e a qualquer escala.

Até ao momento o *Digitization Program Office* digitalizou centenas de objetos. Para a primeira apresentação de itens disponíveis, foram escolhidos exemplos que demonstrassem todas as áreas de abrangência do *Smithsonian*, a arte, história e ciência convergiram em artefactos de valor incalculável, espécimes antigos ou, – como o caso da orquídea – organismos vivos atualmente.

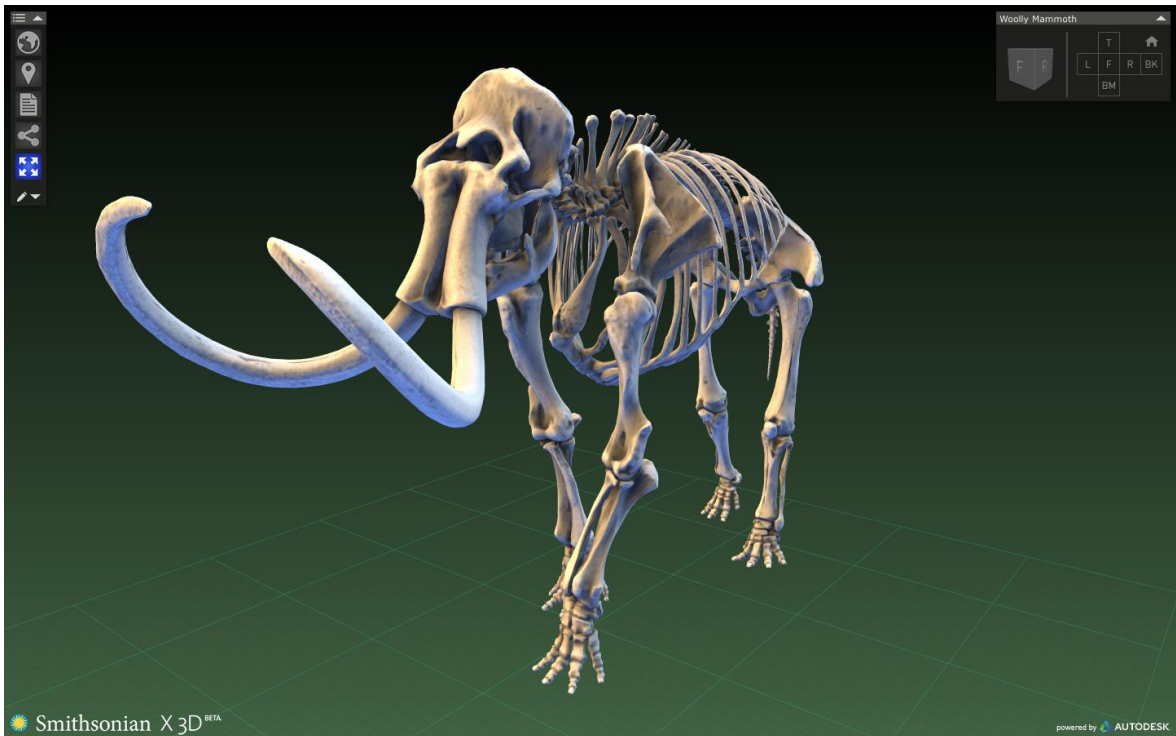
O fóssil de baleia (**Figura 21**), por exemplo, foi digitalizado quando os restos de várias dúzias de baleias com 7 milhões de anos de idade foram descobertos no Chile.



Fonte: *Smithsonian X 3D*, <http://3d.si.edu/browser>
Figura 21: *Smithsonian X 3D - Fossil Whale MPC 677*

Para preservar os espécimes no seu contexto geológico, *Metallo Rossi* e outros digitalizaram-nos em 3D. Este local já não existe no Chile mas qualquer pessoa pode agora tirar medidas ou usar essa informação.

A digitalização também foi usada em projetos internos do *Smithsonian*, tais como o “*The Comprehensive Scanning of Dinosaur Hall*” para documentar a posição de todos os espécimes existentes no museu antes do seu encerramento para obras de renovação, como é o caso do “*Woolly Mammoth*” (**Figura 22**).



Fonte: *Smithsonian X 3D*, <http://3d.si.edu/browser>
Figura 22: *Smithsonian X 3D - Woolly Mammoth*

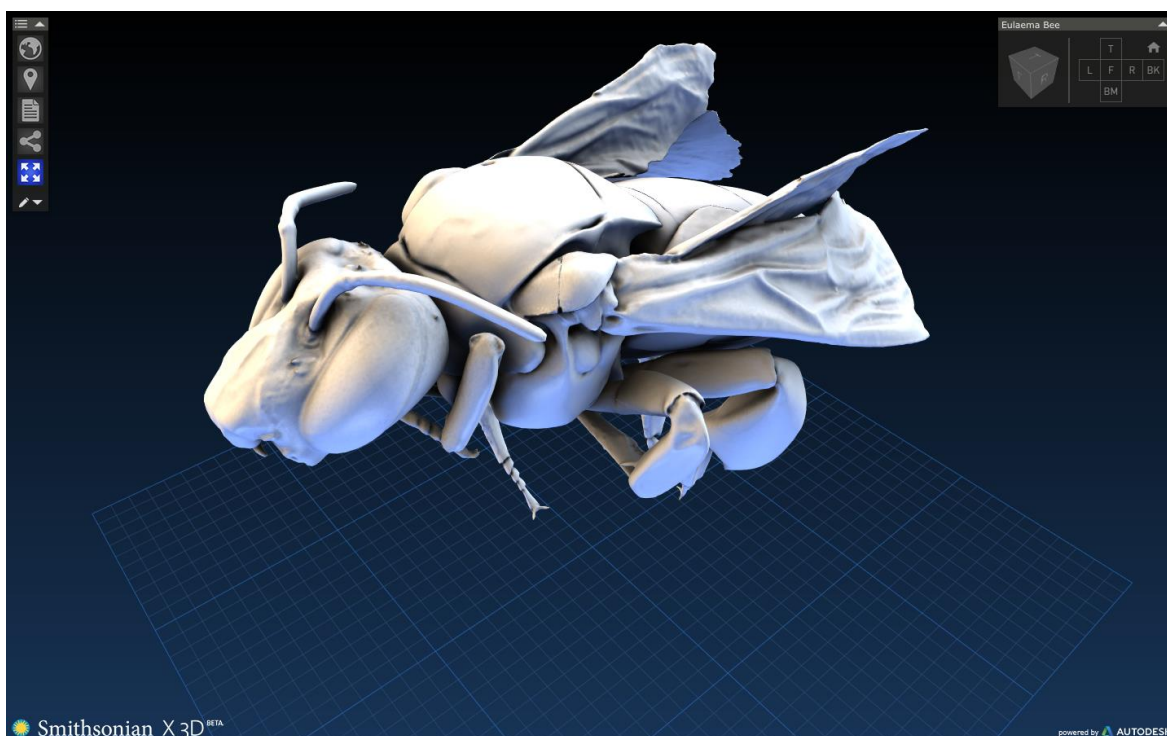
Este foi um grande desafio não apenas pelo tamanho mas também pela complexidade. Para capturar os contornos de cada osso, foi necessário a colocação dos *scanners* em mais de 60 posições diferentes, depois conjugar cuidadosamente os conjuntos de dados para formar o animal por completo.

Também se pode encontrar espécimes relativamente pequenos como a abelha (**Figura 23**) tirada da coleção de entomologia do *Smithsonian*. Para capturar detalhes tão pequenos quanto o pêlos do abdomen, *Metallo* e *Rossi* usaram um micro *CT Scanner*¹, semelhante ao *CT Scanner* médico mas com a capacidade de capturar objetos mais pequenos com grande resolução.

Posta em prática as técnicas de digitalização ou levantamento 3D e novas formas de partilhar a informação com o público, *Rossi* e *Metallo* tem agora o objetivo de aumentar a escala da operação e digitalizar centenas ou milhares de objetos por ano, em vez de apenas algumas dúzias. Poderá não ser possível de fazer o levantamento 3D de todos os 137 milhões de

¹ *Medical News Today*, <http://www.medicalnewstoday.com/articles/153201.php>, visitado em Agosto de 2015

objectos do *Smithsonian*, mas pretendem digitalizar todos quanto possível (“These New 3D Models Put the Smithsonian’s Most Renowned Items in Your Hands,” 2013).



Fonte: *Smithsonian X 3D*, <http://3d.si.edu/browser>
Figura 23: *Smithsonian X 3D - Eulaema Bee*

Em 2012, *Adam Metallo* e *Vicent Rossi* criaram um documento intitulado “Nova Geração de Retratos 3D: Uma Máscara Digital e Real do Presidente *Obama*.” Em 2013, o *Office of Science and Technology Policy (OSTP)* da Casa Branca teve conhecimento da notícia, e seis meses mais tarde, a equipa do *Smithsonian* criou o primeiro retrato 3D de um Presidente dos Estados Unidos.

Sempre houve a necessidade humana de documentar os líderes com recurso à tecnologia disponível. O *Smithsonian* coleciona os resultados destes esforços como bustos, pinturas e fotografias no *National Portrait Gallery*. Uma das inspirações para este projeto foram as máscaras do Presidente *Lincoln* digitalizadas para o *Smithsonian X 3D*. Criadas em 1860 e 1865, capturaram o Presidente *Lincoln* um ano antes de assumir o cargo e dois meses antes do seu assassinato. As diferenças nas marcas do rosto do Presidente denunciam o horror da Guerra Civil e fazem uma ponte para o passado da sua vida.

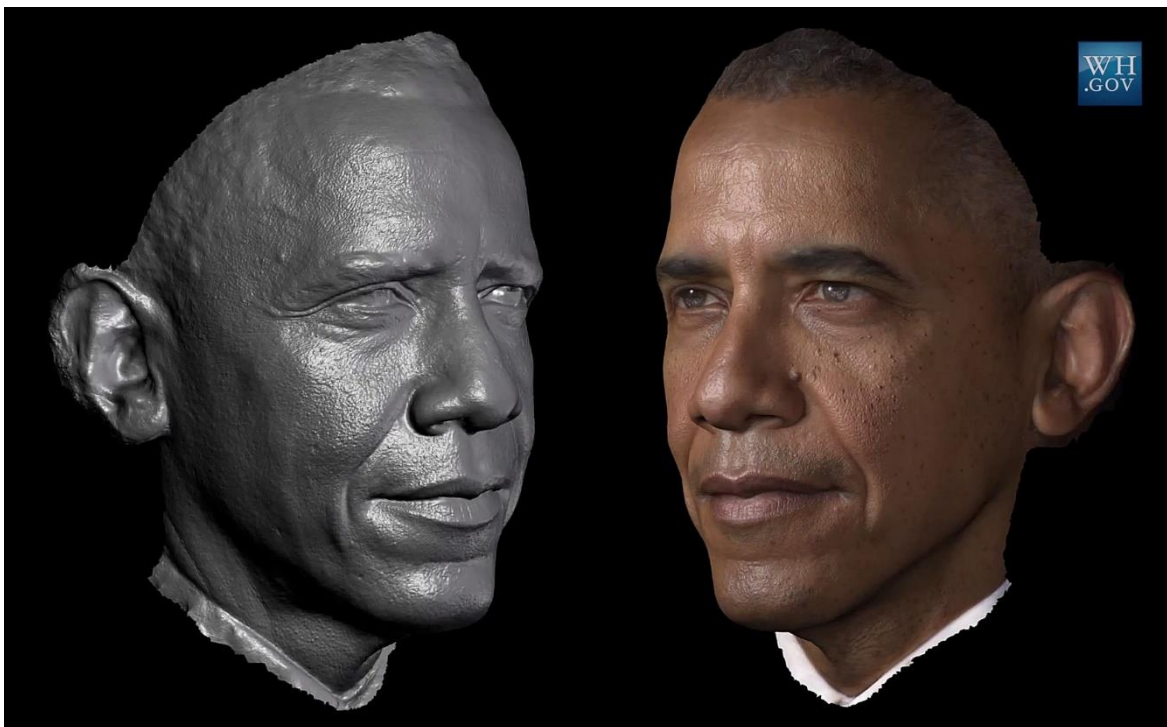
No caso da máscara criada em 1865 na Casa Branca, os estudiosos acreditam que o rosto e a barba do Presidente foram lubrificados antes de aplicar uma fina camada de gesso. O Presidente respirava através de palhas colocadas nas narinas enquanto o gesso secava. Atualmente foi apenas exigido ao Presidente *Obama* tolerar um segundo de luzes *flash* e permanecer sentado e imóvel durante 90 segundos.

Em parceria com o *Institute for Creative Technologies* da *University of Southern California*, foi montada uma estrutura de iluminação portátil composta por 8 máquinas DSLR profissionais e 50 fontes de luz montadas numa estrutura em alumínio (**Figura 24**).



Fonte: USC Institute for Creative Technologies, <http://gl.ict.usc.edu/Research/presidentialportrait>
Figura 24: *Scanning and Printing a 3D Portrait of President Barack Obama - Iluminação*

Durante a digitalização facial as câmaras capturaram 10 fotografias em diferentes condições de iluminação, no total de 80 fotografias. Tudo isto em apenas 1 segundo. A partir daqui a informação foi processada com algoritmos complexos resultando um modelo 3D de alta resolução. Esta estrutura apenas capturou os detalhes faciais do Presidente de orelha a orelha (**Figura 25**), semelhantemente à máscara de *Lincoln* em 1860.



Fonte: USC Institute for Creative Technologies, <http://gl.ict.usc.edu/Research/presidentialportrait>
Figura 25: Scanning and Printing a 3D Portrait of President Barack Obama - Modelo 3D Facial

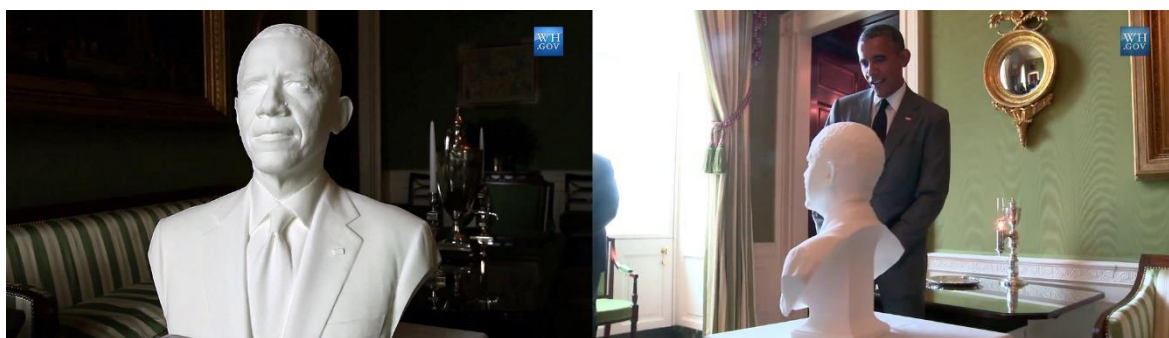
Como o objetivo era produzir o busto completo do Presidente, foram usados processos adicionais para capturar informação das restantes áreas. Para isto foram usados *scanners* manuais. Estes capturam em vídeo padrões de luz que se deformam quando são projetados numa superfície irregular. Com base nessa deformação, os algoritmos usam essa informação para reconstruir a geometria 3D. Desta forma foi assegurada a resolução dos detalhes mais complexos – com os *scanners* manuais – fossem fotografados manualmente de forma a não serem perdidos.

A secagem do gesso da máscara do Presidente *Lincoln* demorou 15 minutos. No caso do Presidente *Obama*, foram apenas necessários 7 minutos desde a entrada do Presidente na sala até à conclusão do levantamento do retrato 3D, usando a tecnologia atual.

De seguida a equipa transferiu toda a informação dos cartões de memória para as estações de processamento onde posteriormente foi transferida para a equipa da *Autodesk*¹. Aqui foram combinadas as geometrias de diferentes fontes de informação num só modelo 3D. A informação de cor de cada levantamento foi normalizada, de forma a não se notar as

¹ *Autodesk*, <http://www.autodesk.com>, visitado em Julho de 2015

“costuras” da junção dessas geometrias. Posteriormente um escultor digital adicionou uma base ao busto completo. Em 72 horas o processo resultou num ficheiro com 15 milhões de triângulos pronto para impressão. Dois dias depois o ficheiro para impressão foi transferido para a *3D Systems*¹ onde o busto foi impresso à escala 1:1 num processo chamado *Selective Laser Sintering (SLS)*. Neste processo um *laser* derrete pó de nylon resultando uma impressão bastante precisa e duradoura (**Figura 26**). A impressão demorou 42 horas devido ao tamanho do busto, seguidas mais 24 horas para arrefecimento, a tempo da *White House Maker Faire*² em Dezembro de 2014 (“Smithsonian Creates the First-ever 3D Presidential Portrait,” 2014).



Fonte: USC Institute for Creative Technologies, <http://gl.ict.usc.edu/Research/presidentialportrait>
Figura 26: Scanning and Printing a 3D Portrait of President Barack Obama – Impressão 3D do Modelo Final

4.2 - Reconstrução 3D - Rome Reborn

Alguns projetos de reconstrução 3D nas últimas duas décadas forma bastante relevantes. Ao nível internacional pode-se salientar o Laboratório de Realidade Virtual Cultural (*CVRLab – Cultural Virtual Reality Laboratory*³), fundado em 1996 pelos professores *Bernard Frischer*⁴ e *Diane Favro*⁵ da Universidade da Califórnia⁶ (*UCLA*). Este foi o primeiro laboratório a nível mundial a usar a visualização tridimensional na reconstrução de património cultural. Durante oito anos trabalhou na aplicação de tecnologias relacionadas

¹ *3D Systems*, <http://www.3dsystems.com>, visitado em Julho de 2015

² *The White House - A Nation of Makers*, <https://www.whitehouse.gov/nation-of-makers>, visitado em Julho de 2015

³ *Digital Roman Forum*, <http://dlib.etc.ucla.edu/projects/Forum>, visitado em Julho de 2015

⁴ *Frischer Consulting*, <http://www.frischerconsulting.com/frischer>, visitado em Julho de 2015

⁵ *UCLA - Diane Favro*, http://www.aud.ucla.edu/faculty/diane_favro_7.html, visitado em Julho de 2015

⁶ *UCLA*, <http://www.ucla.edu>, visitado em Julho de 2015

com diversos projetos de reconstrução e documentação de património. Em 1997 o *CVRLab* deu início ao desenvolvimento do projeto de maior referência nesta área, o *Rome Reborn*¹, com a coordenação do professor *Bernard Frischer*.

Este projeto ambicioso encontra-se atualmente na versão 2.2 e consiste na reconstrução 3D da Roma Antiga (**Figura 27**) a partir do primeiro assentamento da Idade do Bronze (cerca de 1000 a.C.) até ao despovoamento da cidade no início da Idade Média (aproximadamente 500 d.C.). Com o aconselhamento do Comité do Conselho Científico internacional os líderes do projeto decidiram iniciar o trabalho de modelação 3D a partir da data de 320 d.C. Na data então estabelecida Roma já tinha atingido o seu pico demográfico e as principais igrejas cristãs e prédios públicos começavam a ser construídos (**Figura 28**). Muito do património existente hoje da cidade antiga remonta a esse período, e isso faz com que a reconstrução seja o menos especulativa possível (“Rome Reborn,” 2015).



Fonte: *Rome Reborn*, <http://romereborn.frischerconsulting.com>
Figura 27: Vista Aérea ("Coliseu") - *Rome Reborn* Versão 2.2

¹ *Rome Reborn*, <http://romereborn.frischerconsulting.com>, visitado em Julho de 2015



Fonte: *Rome Reborn*, <http://romereborn.frischerconsulting.com>
Figura 28: Vista Aérea Sobre o Centro da Cidade - *Rome Reborn* Versão 2.2

Este projeto pretendia reconstruir os elementos espaciais e apresentar informações/teorias sobre o existente na Roma Antiga no ano de 320 d.C. Para tal duas classes de modelos digitais foram elaborados a partir do nível de respaldo documental e arqueológico disponível: a Classe I correspondente ao material de escavações arqueológicas, moedas, inscrições antigas, fontes literárias e referências dos artistas do Renascimento até ao século XIX. E a Classe II elaborada a partir de dois catálogos regionais (*Curiosum* e o *Notitia*) do século IV d.C. que ofereceu dados quantitativos sobre a distribuição de tipos de edifícios ao longo das catorze alas da cidade (“Rome Reborn,” 2015).

Na ausência total de informação, elementos como estátuas, monumentos, o interior dos prédios e elementos decorativos foram omitidos.

Posto isto foi disponibilizado aos utilizadores as fontes documentais e o raciocínio especulativo que estruturou o modelo.

O *Rome Reborn* – e toda a discussão com ele introduzida – pode ser entendido como o precursor dos debates sobre a certificação científica dos modelos digitais históricos. Este veio dinamizar grupos interdisciplinares a evoluírem paralelamente cada um no seu campo disciplinar (“Rome Reborn,” 2015).

4.3 - Normas e Diretrizes Internacionais

O crescimento do turismo cultural e os avanços tecnológicos nos anos recentes tem conduzido à implementação de inúmeros projetos para investigar, preservar, interpretar e apresentar vários elementos do património arqueológico usando a visualização por computador. Estes projetos tem demonstrado não só o extraordinário potencial da visualização por computador mas também a suas fraquezas e inconsistências. Contudo existe claramente a necessidade de debates teóricos com implementações práticas para permitir que os gestores do património possam utilizar o melhor que as novas tecnologias podem oferecer, de forma a minimizar as suas aplicações mais controversas. De forma prática, alguns princípios devem ser estabelecidos para governar as práticas nesta área em crescimento. A Carta de Londres¹ é atualmente o documento internacional mais avançado nesta direção. As suas várias atualizações revelam o esmagador desejo de encontrar um documento com recomendações que possam servir de base para desenhar novos projetos com maior rigor no campo do património histórico, mas também propor novas recomendações e orientação adaptada às necessidades específicas de cada ramificação do conhecimento e da comunidade de especialistas. Por esta razão, os objetivos apresentados na Carta de Londres pretendem “oferecer uma fundação robusta sobre a qual os grupos de prática se possam guiar pelas orientações detalhadas da Carta de Londres” (Denard, 2009). E não se deve esquecer o alcance incomensurável do conceito de Património Cultural, que abrange áreas tão amplas como a monumental, etnográfica, documental, industrial, artística e arqueológica (Menchero, 2013).

4.3.1 - Carta de Cracóvia

Em 2000 foi lançada a Carta de Cracóvia² - Princípios para a Conservação e Restauro do Património Edificado. Pela primeira vez na história é incluída uma recomendação para a utilização das novas tecnologias no domínio do património arqueológico. Pode ser lido na íntegra: *“Para a proteção e apresentação pública de sítios arqueológicos deve encorajar-se: o recurso a técnicas modernas; a criação de bancos de dados; a utilização de sistemas*

¹ *London Charter*, http://www.londoncharter.org/fileadmin/templates/main/docs/london_charter_2_1_pt.pdf, visitado em Julho de 2015

² Património Cultural, <http://www.patrimoniocultural.pt/media/uploads/cc/cartadecracovia2000.pdf>, visitado em Julho de 2015

de informação e a utilização de técnicas de apresentação virtual dos sítios” (Europeia, 2000).

Com esta nova redação marca-se uma abordagem diferente e sem precedentes ao uso das novas tecnologias aliadas à conservação e valorização do património.

No mesmo ano é publicado um ensaio da autoria de *Bernard Frischer, F. Niccolucci, N. Ryan e J. Barceló*, resumindo algumas questões mais importantes em relação às técnicas de visualização digital, no domínio da arqueologia.

Lidou-se em particular com a questão da credibilidade e validade da reconstrução 3D de objetos, monumentos, paisagens parcialmente ou totalmente modificados ou destruídos e reconstruídos virtualmente com base na interpretação arqueológica.

O referido ensaio nasce como resultado de um debate ocorrido num simpósio, onde se sintetizou algumas questões abordadas no âmbito de publicações da comunidade científica, originando o grupo *Cultural Virtual Reality Organisation (CVRO)*.

Este grupo encontra-se atualmente inativo mas teve uma importância fundamental pois foram estabelecidos princípios que tiveram grande influência em projetos nos lados opostos do Atlântico.

4.3.2 - Carta de Londres

No início do ano 2000 surgiram vários artigos, documentos, manuais para *CAD*¹ e Realidade Virtual, iniciativas de grupos como o *Virtual Archaeology Special Interest Group (VASIG)*. Estes vieram enfatizar a importância de garantir que os métodos de visualização digital fossem executados com rigor científico, e que os resultados fossem claros a distinguir entre a hipótese e a evidência.

Com base neste contexto, em Julho de 2005 o *King's Visualisation Lab*² (*KVL*), do *King's College* da Universidade de Londres, deu início a um projeto chamado “*Making Space*”³ com o objetivo de investigar uma metodologia adequada para o rastreamento e

¹ *Autodesk*, <http://www.autodesk.com.br/solutions/cad-software>, visitado em Julho de 2015

² *King's Visualisation Lab*, <http://www.kvl.ech.kcl.ac.uk>, visitado em Julho de 2015

³ *King's Visualisation Lab - Making Space*, http://www.kvl.ech.kcl.ac.uk/making_space.html, visitado em Julho de 2015

documentação do processo cognitivo da investigação baseada na visualização 3D (“KVL - King’s Visualisation Lab - Making Space,” 2007).

Drew Baker propôs o termo “Paradata” com o objetivo de designar o capital intelectual gerado durante a investigação, destacando que grande parte da informação essencial para a compreensão e validação dos métodos de visualização 3D é frequentemente perdida.

Em Fevereiro de 2006 o projeto reuniu um Simpósio e um Seminário de especialistas na Academia Britânica e no *Centre for Computing in the Humanities* do *King’s College*. No decorrer dos dois dias do Simpósio, cinquenta investigadores debateram diversas abordagens para a questão da transparência. No terceiro dia, um pequeno grupo de especialistas discutiram um desenho preliminar da Carta de Londres (London Charter¹).

Este é o primeiro e mais importante documento de recomendações aprovado pela comunidade científica internacional dentro do domínio do património cultural e das novas tecnologias. Esta carta tem o objetivo de definir quais os requisitos necessários para atribuir à visualização 3D o rigor presente em qualquer método de investigação científica.

4.3.3 - Princípios de Sevilha

Já em 2011 a *Sociedad Española de Arqueología Virtual*² (SEAV) iniciou um plano de formação internacional em Arqueologia Virtual. Este plano conta com graduação e pós-graduação em cooperação com universidades europeias e americanas. Denominado *Campus Internacional en Arqueología y Patrimonio Virtual*³ é o primeiro projeto educativo estruturado para a disciplina. Este projeto está inserido no contexto do processo que formatou a criação dos Princípios Internacionais de Arqueologia Virtual chamados de: Princípios de Sevilha⁴.

¹ *London Charter*, http://www.londoncharter.org/fileadmin/templates/main/docs/london_charter_2_1_pt.pdf, visitado em Julho de 2015

² *Sociedad Española de Arqueología Virtual*, <http://www.arqueologiavirtual.com>, visitado em Julho de 2015

³ *Universidad de Murcia*, <http://www.um.es/educacionmuseos/campus-internacional-en-arqueologia-y-patrimonio-virtual>, visitado em Julho de 2015

⁴ *Sociedad Española de Arqueología Virtual - Principles Of Seville*, <http://www.arqueologiavirtual.com/carta/wp-content/uploads/2012/03/BORRADOR-FINAL-FINAL-DRAFT.pdf>, visitado em Julho de 2015

A versão final do documento foi editada em 2012 e representa a implementação das diretrizes da Carta de Londres no domínio da arqueologia virtual.

Desta forma, esta é a primeira implementação da Carta de Londres num campo específico do conhecimento científico. São definidos oito princípios fundamentais: interdisciplinaridade, finalidade, complementaridade, autenticidade, rigor histórico, eficiência, transparência científica e formação e avaliação.

Para além destes princípios, contempla um rico glossário de definições específicas do campo, entre elas: Arqueologia Virtual, Restauração Virtual, Reconstrução Virtual, Anastilose Virtual, entre outras.

Apresentada a definição da primeira, a Arqueologia Virtual como “a disciplina científica que procura investigar e desenvolver formas de usar a visualização por computador para a gestão abrangente da herança arqueológica” (Menchero, 2013).

A Restauração Virtual é definida como o uso de um modelo virtual para reordenar os materiais remanescentes disponíveis a fim de recriar visualmente algo que existiu no passado. Desta forma a Restauração Virtual inclui a Anastilose Virtual.

4.3.4 - Comissão Europeia

A Europa tem linhas de investigação e desenvolvimento traçadas através da *European Commission*. Um dos desafios da *Digital Agenda for Europe* é a digitalização da herança cultural, tornando acessível *online* e preservando para as futuras gerações um vasto número de livros, pinturas, objetos, gravações, milhões de horas de filmes e coberturas em vídeo, abrangendo a grande diversidade histórica e cultural Europeia.

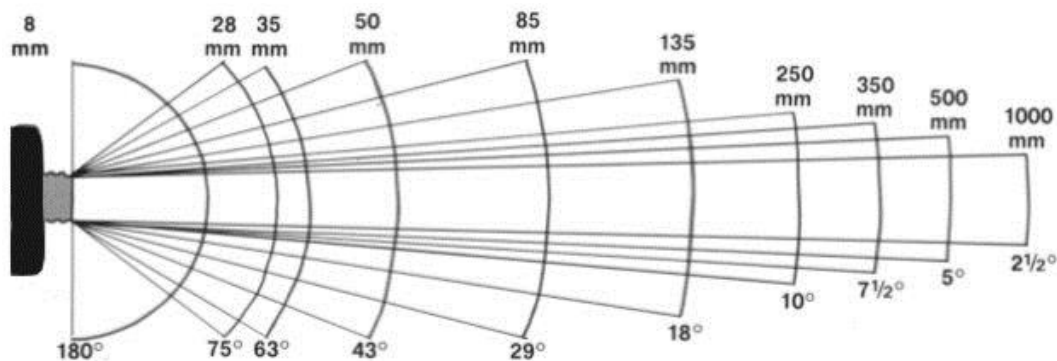
O portal da Europeana (www.europeana.eu) permite o acesso à cultura digital da Europa a todos, incluindo as indústrias criativas com a inovação e a reutilização de material. Esta é considerada uma mais valia para a cultura, crescimento económico e realização individual (“Digital Culture | Digital Agenda for Europe | European Commission,” 2015).

5 - Tecnologias de Levantamento 3D

Atualmente existe uma oferta diversificada na área do levantamento 3D (digitalização 3D). A evolução tecnológica tem proporcionado o acesso ao utilizador comum tanto ao nível do *hardware* como do *software*. Entre as várias técnicas usadas temos o *laser scanning* 3D como o *David 3D Scanner*¹, a *Microsoft Kinect* com o *software ReconstructMe*² ou a fotogrametria com o *software Autodesk 123D Catch*³ ou o *Agisoft Photoscan*⁴.

5.1 - Varrimento *Laser* (*Laser Scanning*)

Os *scanners a laser* 3D (em Português pode-se adotar a designação de Varrimento *Laser* 3D) são muito parecidos com as câmaras. À semelhança destas, também tem um campo de visão cónico (**Figura 29**) e recolhem informação das superfícies visíveis. Enquanto uma câmara recolhe informação que se encontra dentro do campo de visão, um *scanner* 3D recolhe informação da distância das superfícies dentro do seu campo de visão.



Fonte: *Location Filmmaking*, <http://locationfilmmaking2015.blogspot.pt/2015/04/depth-of-field.html>

Figura 29: Campo de Visão de Diferentes Lentes

¹ *David 3D Scanner*, <http://www.david-3d.com/en>, visitado em Julho de 2015

² *ReconstructMe*, <http://reconstructme.net>, visitado em Julho de 2015

³ *Autodesk 123D Catch App*, <http://www.123dapp.com/catch>, visitado em Julho de 2015

⁴ *Agisoft PhotoScan*, <http://www.agisoft.com>, visitado em Julho de 2015

A “imagem” produzida por um *scanner* 3D descreve a distância até a uma superfície em cada ponto da imagem. Isto permite a localização da posição tridimensional de cada ponto na fotografia.

Para a maioria das situações, um único levantamento não produz um modelo completo do tema (objetos, cenários etc.). São assim necessários vários levantamentos – por vezes centenas – de várias direções diferentes para obter a informação de todos os lados do tema. Estes levantamentos necessitam de ser referenciados em conjunto durante um processo chamado registo e alinhamento, de seguida combinados de forma a criar o modelo completo. Este processo, que vai desde o primeiro levantamento até ao modelo completo é geralmente conhecido como “*The 3D model acquisition pipeline*” (Bernardini & Rushmeier, 2002).

Existem diferentes tecnologias para a aquisição digital da forma de um objeto 3D. Uma classificação bem estabelecida (Curless, 1999) faz a separação em dois tipos: *scanners* de contacto e *scanners* sem contacto (Abdel-Bary Ebrahim, 2011).

5.1.1 - Técnica de Contato

Os *scanners* de contacto são geralmente calibrados para operar numa plataforma fixa, normalmente tem uma sonda localizada na extremidade de um braço mecânico articulado. Este braço pode ser manipulado por computador ou manualmente sobre as superfícies. Como a sonda entra em contacto com a superfície de um objeto, o *scanner* regista a posição X,Y,Z da sonda (**Figura 30**). As posições registadas formam uma *point cloud* (nuvem de pontos) que poderá ser utilizada para calcular uma malha 3D (Abdel-Bary Ebrahim, 2011).



Fontes: *Digitization Program Office*, <http://dpo.si.edu>;
FARO 3D Laser Scanners, <http://www.faro.com>
Figura 30: Scanner de Contato

Alguns *scanners* 3D altamente precisos, chamados “*Coordinate Measuring Machines (CMMs)*” são muitas vezes utilizados pela indústria de manufatura para inspecionar partes e prevenir problemas no processo de montagem. Os *scanners* 3D tem uma taxa de levantamento lenta e podem não ser indicados para objetos delicados, como obras artísticas preciosas, o contacto físico da sonda pode danificar ou deformar a superfície (Abdel-Bary Ebrahim, 2011).

5.1.2 - Técnica Sem Contato

Os *scanners* 3D sem contacto, tal com indica, não fazem contacto com a superfície de um objeto (**Figura 31**). O resultado final é uma *point cloud* bastante precisa que poderá ser utilizada para a criação de modelos 3D, engenharia inversa, montagem virtual, análise de engenharia, inspeção de superfícies ou prototipagem rápida (Abdel-Bary Ebrahim, 2011).

Os *scanners* 3D emitem de alguma forma radiação ou luz e detetam a sua reflexão de forma a sondar um objeto ou cenário. Os diferentes tipos de emissão usados são a luz, ultrassons e raio-X.



Fonte: *Geo Data Point*, http://geodatapoint.com/images/uploads/FARO_Focus3D_S_MultiSensor.jpg
Figura 31: *FARO Laser Scanner - Espelhos Rotativos ao Centro*

Os *scanners a laser* são uma excelente solução para os levantamentos 3D em diversas áreas tais como: aeronáutica, reparação naval, ferrovia, minas, barragens, indústria, arquitetura e arqueologia. Os resultados produzidos são bastante precisos e uma excelente solução para levantamentos de grandes áreas como monumentos históricos. Como não são limitados às questões de iluminação funcionam bem em diversas condições, tanto em ambientes exteriores ou interiores. No entanto o seu elevado custo é uma limitação para o utilizador comum, sendo estes reservados essencialmente para empresas que aplicam esta tecnologia de forma recorrente.

5.2 - Luz Estruturada

Os *scanners* de luz estruturada projetam um padrão de luz sobre um objeto e observam a deformação do padrão sobre o mesmo. O padrão pode ser a uma dimensão ou a duas

dimensões. Uma linha é um exemplo de um padrão a uma dimensão. A linha é projetada sobre o objeto usando um projetor ou um *laser* (**Figura 32**).



Fonte: LAGOA, <http://home.lagoa.com/2014/04/whats-the-right-3d-scanner-for-you>
Figura 32: Digitalização com o David Laser Scanner SLS-2, Onde se Evidenciam as Faixas Alternadas em Preto e Branco

Uma câmara afastada do projetor do padrão analisa a forma da linha usando uma técnica semelhante à triangulação, calculando assim a distância de cada ponto na linha (**Figura 33**).

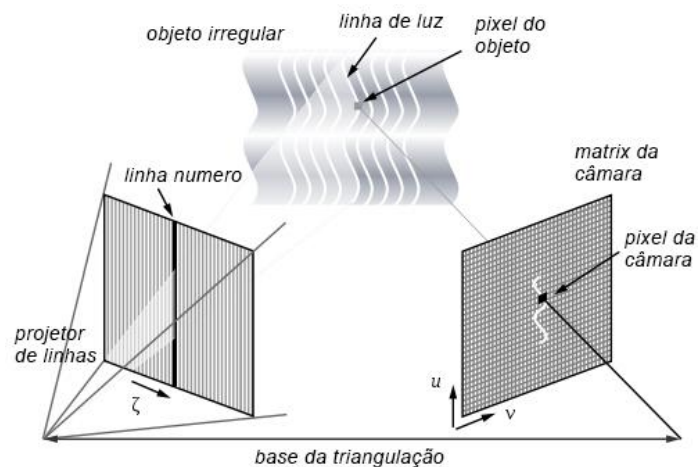


Figura 33: Processo de Captura de Imagem com Luz Estruturada

A velocidade é uma das vantagens dos *scanners* de luz estruturada. Em vez de fazerem o levantamento de um ponto de cada vez, estes conseguem fazer o levantamento de vários pontos ou até o campo de visão por completo de uma vez. Isto reduz ou elimina o problema da distorção provocada pelo movimento. Alguns sistemas conseguem mesmo digitalizar objetos em movimento e em tempo real (Abdel-Bary Ebrahim, 2011).

A escolha de um *scanner* com a referida tecnologia deve considerar: as dimensões principais da peça ou produto a ser digitalizado, o erro de medição permitido e a resolução desejada. Esses fatores são intrínsecos a cada projeto sendo necessário confirmar se os recursos disponíveis pelo equipamento são capazes de alcançar os resultados desejados. Além do alto investimento num *scanner* que confere um pequeno erro de medição, a manipulação dos arquivos digitalizados exige conhecimentos específicos em *software* e projeto mecânico para esse fim. Os *scanners* de luz estruturada conseguem pormenores muito pequenos no entanto funcionam bem para pequenos objetos.

5.3 - Câmaras 3D

A utilização de uma câmara 3D combinada com *software* de reconstrução 3D pode ser uma solução prática e bastante económica. Com esta tecnologia é possível obter resultados razoáveis mas tem algumas limitações. Atualmente é possível encontrar no mercado diversas câmaras 3D, sendo a mais popular a *Microsoft Kinect* (**Figura 34**) usada essencialmente como periférico da *Microsoft Xbox* para deteção de movimento, permitindo a interação entre o utilizador e os jogos. Posteriormente começou a ser usada para outros fins, nomeadamente o controlo de aplicações informáticas através do reconhecimento gestual e facial e a digitalização 3D. Existe uma comunidade crescente de *developers* que tem desenvolvido diversas aplicações para usar com a *Kinect*, até mesmo para a sua utilização com computadores *Apple*.



Fonte: Microsoft, <https://msdn.microsoft.com/en-us/library/hh438998.aspx>

Figura 34: Câmera Microsoft Kinect

A *Kinect* é composta por uma câmera RGB à semelhança de uma câmera normal, um emissor e um recetor de luz infravermelha (IR). Esta funciona projetando uma grelha de pontos de luz infravermelha sobre um cenário (Figura 35) e de seguida faz a medição do tempo que cada um desses ponto leva a ser refletido para o recetor de IR. A partir desta informação é gerada uma *point cloud* com a representação por pontos do cenário 3D e um mapa de profundidade RGB indicando as superfícies que estão mais próximas e mais afastadas (Figura 35).



Fonte: Daniel Shiffman, <https://vimeo.com/132727296>

Figura 35: Grelha de Pontos IR (Esquerda) e Mapa de Profundidade (Direita)

Existe também diverso *software* para a reconstrução 3D com base em câmaras 3D. Este *software* faz a construção da malha 3D, criando polígonos com base nos pontos da *point*

cloud proveniente da *Kinect*. Posteriormente é possível exportar esta malha 3D para outros programas, funcionando assim as câmaras 3D como *scanners* 3D (“Inexpensive new depth-sensing camera could outperform the Kinect,” 2015).

Atualmente existem milhões de utilizadores que usam a *Xbox* com a *Kinect*, para quem pretende explorar a digitalização 3D esta é uma solução bastante acessível, tanto da perspectiva económica e também pela vasta comunidade que produz *software* gratuito para esta câmara. Esta associada a *software* com o *ReconstructMe*¹ ou o *Skaneect*² pode produzir modelos 3D com relativa qualidade, no entanto a sua baixa resolução ainda é uma limitação para a produção de modelos 3D de grande qualidade.

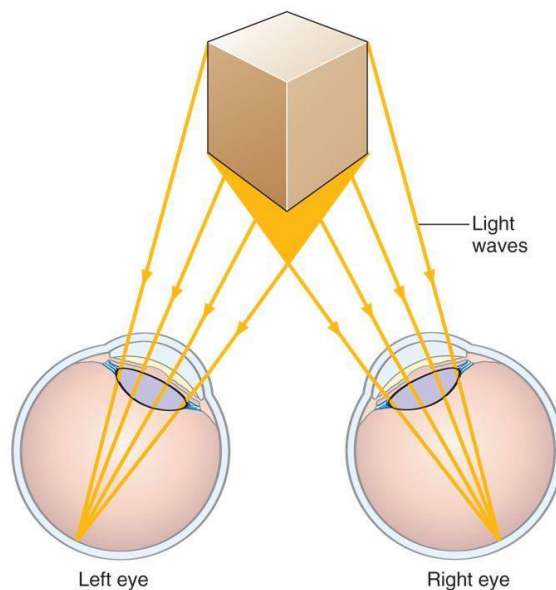
5.4 - Fotogrametria

O cérebro humano compreende a noção de profundidade pela comparação das imagens que os olhos veem. Ao fechar alternadamente cada um dos olhos, é fácil de perceber que um objeto parece deslocar-se da direita para a esquerda. O objeto mais perto parece deslocar-se mais do que um mais afastado. Isto é visão estereoscópica, sendo este o conceito fundamental para a criação da ilusão de objetos tridimensionais e de espaço a partir de imagens a duas dimensões (**Figura 36**).

O cérebro utiliza esta informação para subconscientemente calcular e dizer a que distância se encontra um objeto. De forma semelhante, a fotogrametria é uma técnica de fotografia usando *software* para mapear e reconstruir a forma de um objeto, pela comparação de duas ou mais fotografias.

¹ *ReconstructMe*, <http://reconstructme.net>, visitado em Agosto de 2015

² *Skaneect*, <http://skaneect.occipital.com>, visitado em Agosto de 2015



Fonte: *STUDYBLUE*, <http://www.studyblue.com>
Figura 36: Visão Estereoscópica Humana

A ciência da fotogrametria nasceu à mais de cem anos. Foi usada na Segunda Guerra Mundial pelos aliados para construir mapas de invasão, no programa do *Míssil V-2*¹ e mais tarde pela *NASA* para fazer mapas topográficos da lua nas missões *Apollo*. A fotogrametria percorreu um longo caminho. Salas com pessoas altamente especializadas executando tarefas que demoravam semanas foram substituídas por um *smartphone* com uma câmara, uma simples aplicação e alguns minutos de processamento.

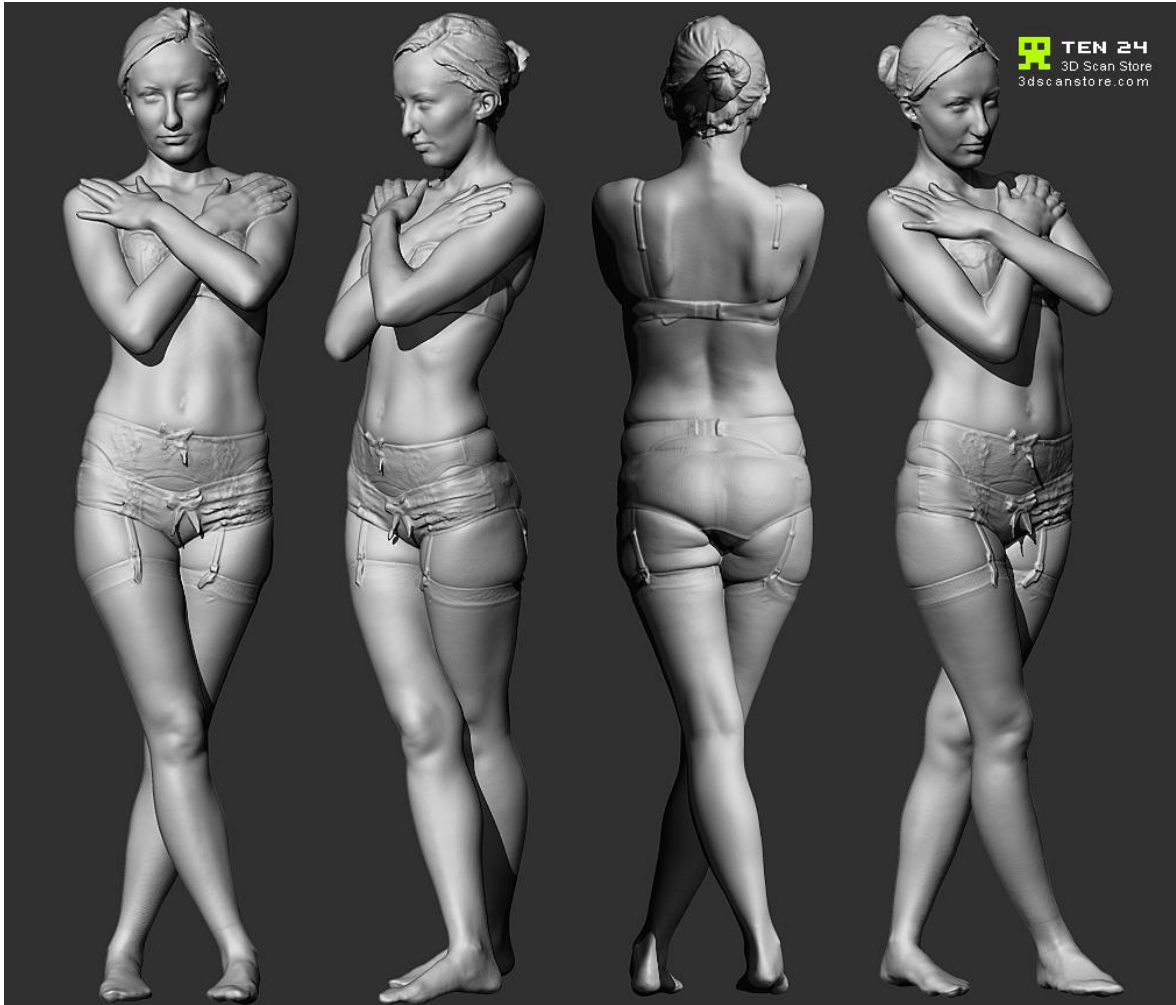
Alguns dos pioneiros atuais como *Lee Perry-Smith* da *Infinite-Realities*² e *TEN24*³ tornaram a fotogrametria uma forma de arte. Já existem atualmente lojas de modelos 3D digitalizados (**Figura 37**) com base na técnica da fotogrametria, como é o caso da *3D SCAN STORE*⁴, produzindo também modelos para a indústria dos jogos e cinema.

¹ *BBC*, <http://www.bbc.com/future/story/20140905-the-nazis-space-age-rocket>, visitado em Julho de 2015

² *Infinite-Realities*, <http://ir-ltd.net>, visitado em Julho de 2015

³ *TEN24*, <http://www.ten24.info>, visitado em Julho de 2015

⁴ *3D SCAN STORE*, <http://www.3dscanstore.com>, visitado em Agosto de 2015



Fonte: 3D SCAN STORE, <http://www.3dscanstore.com>
Figura 37: Modelo 3D Humano Digitalizado por Fotogrametria - TEN24

Estes estúdios usam equipamentos sofisticados com dezenas de máquinas fotográficas digitais profissionais e estruturas de iluminação montadas e otimizadas para produzir os melhores resultados (**Figura 38**).

A fotogrametria é uma técnica relativamente simples de utilizar. Com o uso de uma câmara digital normal e *software* específico é possível produzir modelos 3D com muita precisão. Os sensores das câmaras atuais são muito avançados e como a procura aumenta tornam-se cada vez mais acessíveis ao utilizador comum.

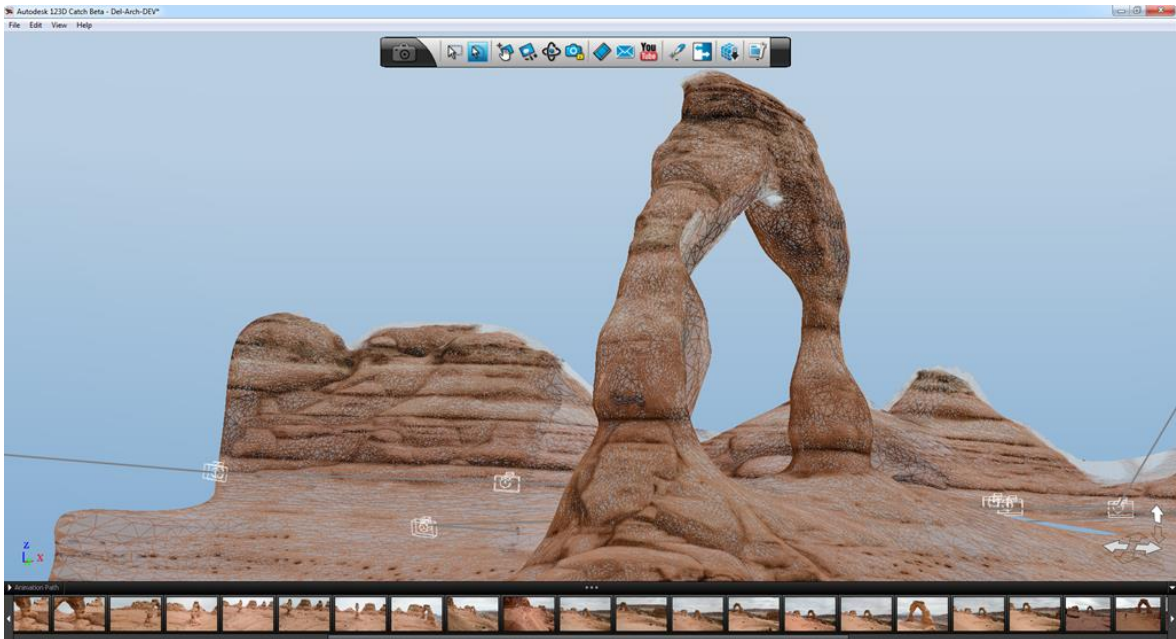


Fonte: 3D Total, http://www.3dtotal.com/index_interviews_detailed.php?id=24#.VcuRI_IVhBc
Figura 38: Estúdio de Fotogrametria Profissional da Infinite-Realities

Relativamente ao *software* usado na fotogrametria os mais populares são o *Autodesk 123D Catch*¹ ou o *Agisoft Photoscan*². O *123D Catch* é um *software* gratuito e relativamente simples de utilizar. As fotografias são processadas nos servidores da *Autodesk*, não sendo assim necessário que o utilizador tenha um computador potente (**Figura 39**). São apresentadas poucas opções de configuração e a *Autodesk* fica proprietária das digitalizações feitas com o seu *software*.

¹ *Autodesk 123D Catch*, <http://www.123dapp.com/catch>, visitado em Julho de 2015

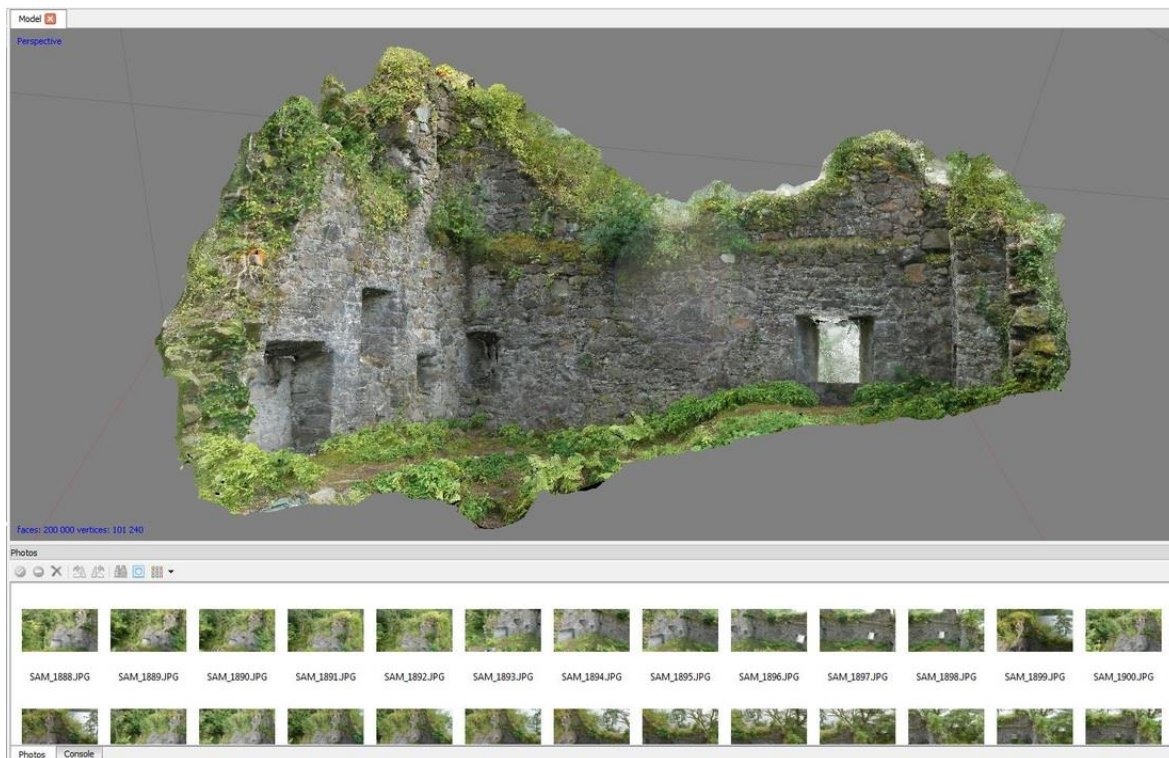
² *Agisoft PhotoScan*, <http://www.agisoft.com>, visitado em Julho de 2015



Fonte: *CAD Tutor*, <http://www.cadtutor.net/forum/showthread.php?67158-Delicate-Arch-in-Your-Hand-as-a-3D-Print>
Figura 39: *Autodesk 123D Catch*

O *Agisoft Photoscan* é rápido com *settings* de baixo detalhe, relativamente fácil de utilizar e pode produzir modelos muito bons (**Figura 40**). A qualidade dos resultados é determinada pelo computador. Para processar imagens de alta resolução é necessário bastante memória RAM.

Ambos os programas trabalham de forma semelhante. É necessário uma sequência de fotografias de um objeto de diversos ângulos, a sua importação para o *software* que compara características entre as fotografias para produzir um modelo 3D com textura.



Fonte: *Island I Vow*, <http://islandivow.org>
Figura 40: *Agisoft PhotoScan*

A fotogrametria está atualmente acessível ao utilizador comum por meio de aplicações para *smartphones*. A partir de uma sequência de fotografias é possível produzir um modelo 3D com alguma qualidade. Este processo envolve uma câmara digital e *software* específico. Como a fotogrametria se baseia numa sequência de fotografias, para obter excelentes resultados é necessário um excelente registo fotográfico. Desta forma é necessário o uso de máquinas fotográficas profissionais com elevadíssima resolução e qualidade. O registo fotográfico deve ser bem planeado de forma a abordar todos os pormenores e a iluminação deve ser perfeitamente estudada (sem sombras e coerente nas fotografias de todos os ângulos). Os melhores resultados são os produzidos em estúdio como se referiu acima, essencialmente pela necessidade de ter uma iluminação adequada .

6 - Resultados

Neste capítulo são apresentadas as diferentes abordagens efetuadas no levantamento 3D da Janela do Capítulo e os resultados obtidos. A primeira abordagem começou pela solução mais prática e acessível de forma a tirar partido de tecnologia já existente, até à solução final que produziu os melhores resultados para fazer face aos requisitos desejados.

6.1 - Levantamento 3D da Janela do Capítulo

A primeira etapa do trabalho passou pelo planeamento do mesmo e pela abordagem ao levantamento 3D da janela. Equacionou-se os meios disponíveis para conseguir a informação básica como: representações planimétricas (plantas, cortes e alçados), desenhos com pormenores construtivos da época da Janela do Capítulo e informação histórica com o enquadramento simbólico no seu todo.

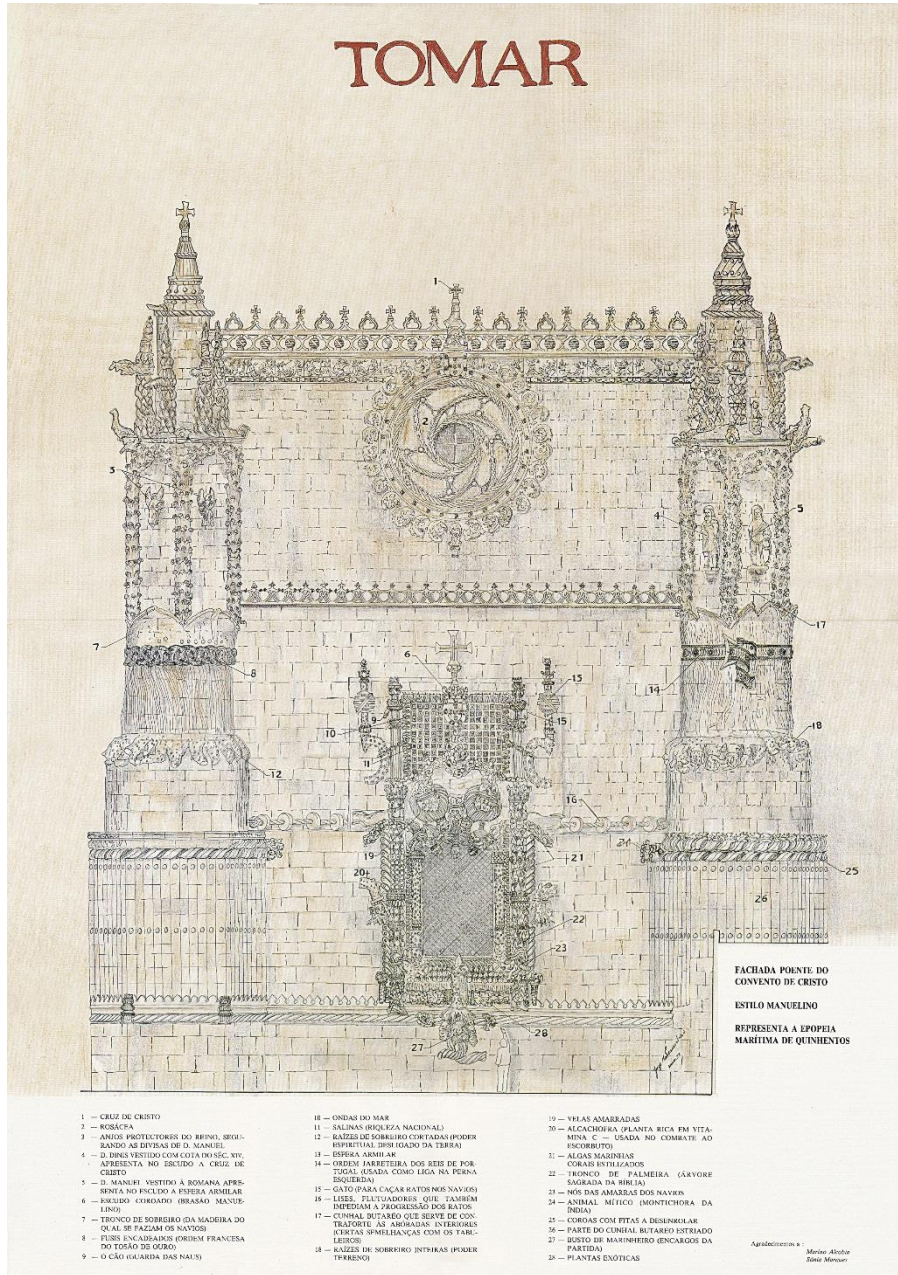
Contactada a entidade competente do Convento de Cristo para a obtenção desta informação conclui-se que a informação relativa a desenhos técnicos da janela era inexistente.

Posteriormente foi conseguido um desenho da autoria do Arquiteto Jorge Mascarenhas com a fachada da Janela do Capítulo. Este desenho tem a descrição de toda a simbologia envolvida e foi o resultado de uma vasta pesquisa feita pelo mesmo (**Figura 41**).

Contactado o Departamento de Conservação e Restauro do Instituto Politécnico de Tomar, foram indicadas duas fontes bibliográficas com informação sobre a Janela do Capítulo, o livro “A Obra Silvestre e a Esfera do Rei” de Paulo Pereira e “História da Arte Portuguesa, Volume 2, Temas e Debates”. Esta informação serviria essencialmente para a aplicação interativa final do projeto.

Com base na informação conseguida, ponderou-se desenvolver o modelo 3D da janela modelando manualmente cada pormenor no *software Autodesk Maya*. No entanto esta seria uma tarefa colossal e resultaria muita falta de rigor em relação ao original. Foi assim necessário ponderar outra abordagem tecnológica, sendo os subcapítulos abaixo o desenrolar da tecnologia utilizada, respetivos testes e resultados obtidos.

TOMAR



Autor: Arquitecto Jorge Mascarenhas
Figura 41: Desenho da Fachada Poente do Convento de Cristo

6.1.1 - Microsoft Kinect

A abordagem tecnológica inicial passou pela possibilidade de efetuar o levantamento com recurso à câmara *Microsoft Kinect*, por se tratar de uma técnica de baixo custo e com equipamento portátil já adquirido. A *Kinect* é uma câmara da *Microsoft* destinada a ser

utilizada na consola de jogos *Xbox* com um sistema operativo baseado em *Windows*¹. Foi assim necessário contornar esta questão e proceder à sua instalação no sistema operativo OS X. São agora apresentadas as diferentes etapas para a sua instalação.

1. Para começar foi necessário instalar a última versão do *Xcode*² (**Figura 42**). Este *software* permite desenvolver aplicações para qualquer dos produtos *Apple*, seja para *Mac*, *iPhone*, *iPad* e até para *Apple Watch*.

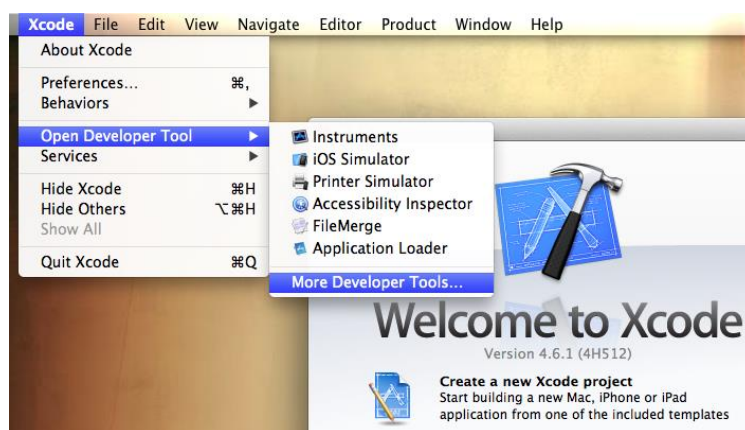


Figura 42: Xcode

2. Com um *AppleID* (registo gratuito) instalou-se o pacote “*Command Line Tools*”. Este pacote instala diversas ferramentas *UNIX*³ acedidas pelo *Terminal*, algumas delas: *make*, *tar* e *zip*.

3. Instalação do *MacPorts*⁴, pacote de *software* gratuito iniciativa de uma comunidade que pretende facilitar o uso de vasto *software open-source* no sistema operativo OS X.

¹ Engadget , <http://www.engadget.com/2013/05/21/xbox-one-runs-three-operating-systems>, visitado em Julho de 2015

² Apple Developer, <https://developer.apple.com/xcode>, visitado em Julho de 2015

³ Unix, http://www.unix.org/what_is_unix.html, visitado em Julho de 2015

⁴ MacPorts, <https://www.macports.org>, visitado em Julho de 2015

4. Instalação do *CMake*¹, *software* gratuito que permite compilar programas para as mais diversas plataformas, entre elas *Windows* e *OS X*. Durante esta operação é também necessário instalar o “*Command Line Links*” (**Figura 43**).

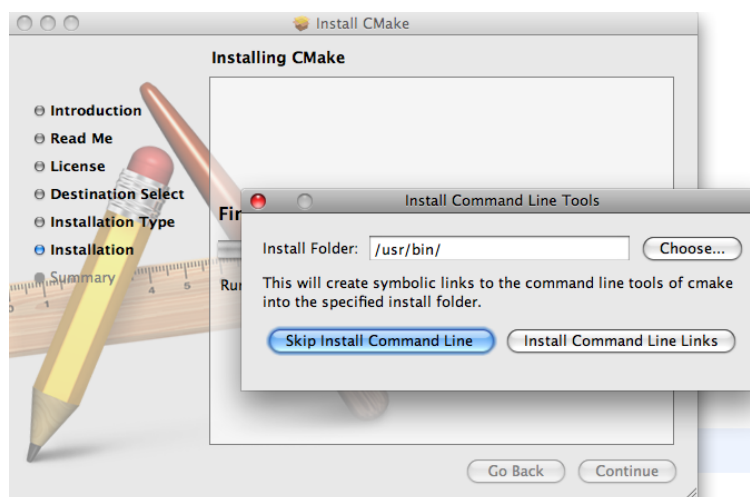


Figura 43: Instalação do *CMake* e *Command Line Links*

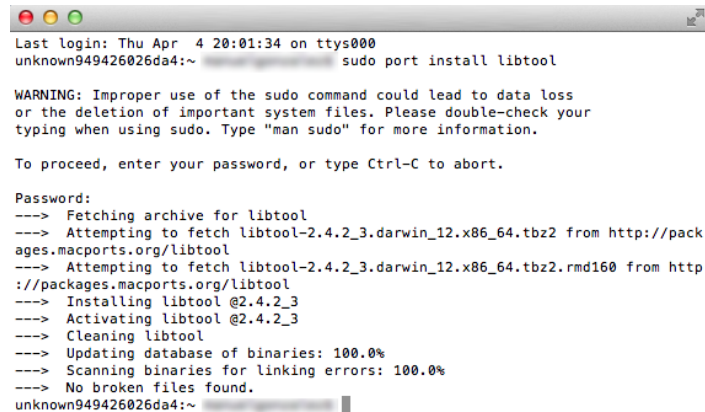
Grande parte das tarefas descritas em seguida foram efetuadas com o *Terminal* do *OS X* que permite aceder ao sistema operativo a um nível inferior.

5. Instalação da livreria *Libtool*² (**Figura 44**) com recurso ao *Terminal* executando o seguinte comando:

sudo port install libtool

¹ *CMake*, <http://www.cmake.org>, visitado em Julho de 2015

² *Libtool*, <http://www.gnu.org/software/libtool>, visitado em Julho de 2015



```
Last login: Thu Apr 4 20:01:34 on ttys000
unknown949426026da4:~ sudo port install libtool

WARNING: Improper use of the sudo command could lead to data loss
or the deletion of important system files. Please double-check your
typing when using sudo. Type "man sudo" for more information.

To proceed, enter your password, or type Ctrl-C to abort.

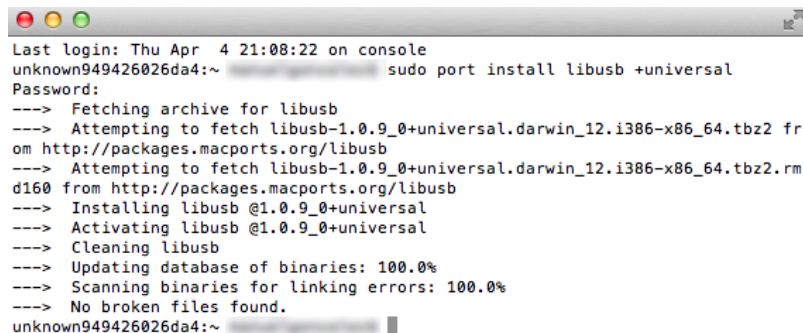
Password:
----> Fetching archive for libtool
----> Attempting to fetch libtool-2.4.2_3.darwin_12.x86_64.tbz2 from http://pack
ages.macports.org/libtool
----> Attempting to fetch libtool-2.4.2_3.darwin_12.x86_64.tbz2.rmd160 from http
://packages.macports.org/libtool
----> Installing libtool @2.4.2_3
----> Activating libtool @2.4.2_3
----> Cleaning libtool
----> Updating database of binaries: 100.0%
----> Scanning binaries for linking errors: 100.0%
----> No broken files found.
unknown949426026da4:~
```

Figura 44: Instalação da Livraria *Libtool*

De seguida foi necessário reiniciar o *Mac*.

6. Instalação da livraria *Libusb*¹ (**Figura 45**) que permite o fácil acesso das aplicações aos dispositivos USB em diversos sistemas operativos. Esta instalação foi executada com recurso ao *Terminal* executando o seguinte comando:

sudo port install libusb +universal



```
Last login: Thu Apr 4 21:08:22 on console
unknown949426026da4:~ sudo port install libusb +universal
Password:
----> Fetching archive for libusb
----> Attempting to fetch libusb-1.0.9_0+universal.darwin_12.i386-x86_64.tbz2 fr
om http://packages.macports.org/libusb
----> Attempting to fetch libusb-1.0.9_0+universal.darwin_12.i386-x86_64.tbz2.rm
d160 from http://packages.macports.org/libusb
----> Installing libusb @1.0.9_0+universal
----> Activating libusb @1.0.9_0+universal
----> Cleaning libusb
----> Updating database of binaries: 100.0%
----> Scanning binaries for linking errors: 100.0%
----> No broken files found.
unknown949426026da4:~
```

Figura 45: Instalação da Livraria *Libusb*

De seguida foi necessário reiniciar novamente o *Mac*.

¹ *Libusb*, <http://www.libusb.org>, visitado em Julho de 2015

7. Instalação do *Git-Core*¹ que permite instalar *software* a partir de um repositório sempre atualizado. Esta foi feita executando o seguinte comando:

```
sudo port install git-core
```

8. Instalação do *OpenKinect*² (**Figura 46**), conjunto de bibliotecas desenvolvidas por uma comunidade *open-source* com o objetivo de permitir o uso da *Kinect* em *Windows*, *Linux* e *Mac*. A instalação foi feita executando o seguinte comando:

```
git clone git://github.com/OpenKinect/libfreenect.git
```

9. Entrar na pasta do “*libfreenect*” executando o seguinte comando:

```
cd /Users/'your_user_name'/libfreenect
```

10. Executar o programa com o seguinte comando:

```
ccmake /Users/'your_user_name'/libfreenect
```

11. Entrar no painel de configuração pressionando a tecla “c”.

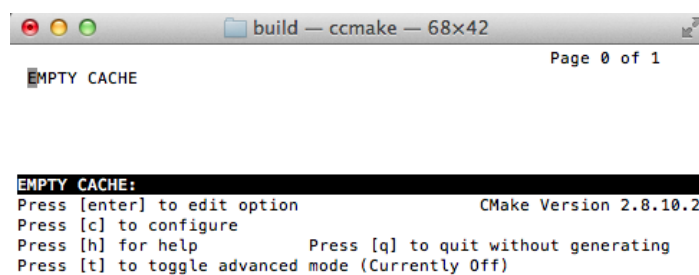


Figura 46: Início da Instalação do Programa *OpenKinect*

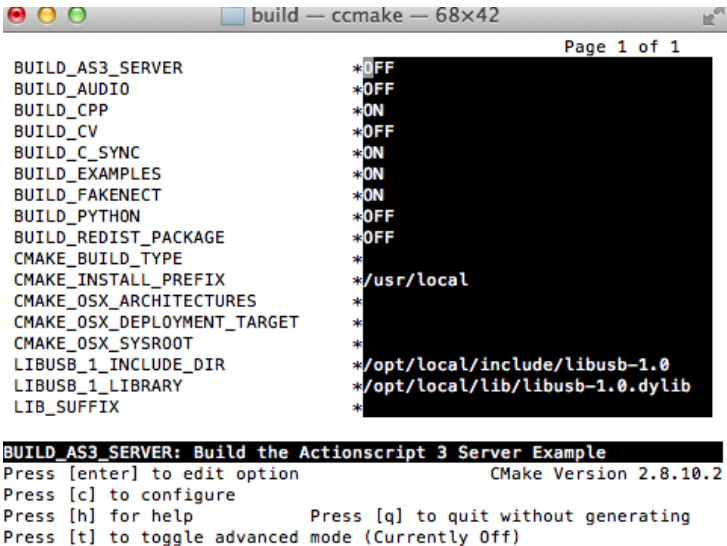
¹ *GitHub*, <https://github.com>, visitado em Julho de 2015

² *Open Kinect*, http://openkinect.org/wiki/Main_Page, visitado em Julho de 2015

12. Verificar se as variáveis “*LIBUSB_1_INCLUDE_DIR*” e “*LIBUSB_1_LIBRARY*” estão direcionadas para a pasta “*include*” e para o ficheiro “*libusb-1.0.dylib*” de acordo com o seguinte (**Figura 47**):

LIBUSB_1_INCLUDE_DIR: /usr/local/include

LIBUSB_1_LIBRARY: /usr/local/lib/libusb-1.0.dylib



```
Page 1 of 1
BUILD_AS3_SERVER      *OFF
BUILD_AUDIO           *OFF
BUILD_CPP             *ON
BUILD_CV              *OFF
BUILD_C_SYNC         *ON
BUILD_EXAMPLES       *ON
BUILD_FAKENECT       *ON
BUILD_PYTHON         *OFF
BUILD_REDIST_PACKAGE *OFF
CMAKE_BUILD_TYPE     *
CMAKE_INSTALL_PREFIX */usr/local
CMAKE_OSX_ARCHITECTURES *
CMAKE_OSX_DEPLOYMENT_TARGET *
CMAKE_OSX_SYSROOT    *
LIBUSB_1_INCLUDE_DIR */opt/local/include/libusb-1.0
LIBUSB_1_LIBRARY     */opt/local/lib/libusb-1.0.dylib
LIB_SUFFIX           *

BUILD_AS3_SERVER: Build the Actionscript 3 Server Example
Press [enter] to edit option          CMake Version 2.8.10.2
Press [c] to configure
Press [h] for help                    Press [q] to quit without generating
Press [t] to toggle advanced mode (Currently Off)
```

Figura 47: *Settings de Instalação do Programa OpenKinect*

13. Pressionar a tecla “g” para fechar a configuração e de seguida verificar se toda a estrutura de ficheiros está correta executando o seguinte comando:

make

14. Proceder à instalação do *software* executando o seguinte comando:

sudo make install

Inserindo a *password* de administrador o resultado será o seguinte (**Figura 48**):

```

unknown949426026da4:~ ██████████ sudo make install
Password:
[ 23%] Built target freenect
[ 47%] Built target freenectstatic
[ 52%] Built target freenect_sync
[ 57%] Built target glpclview
[ 61%] Built target glview
[ 66%] Built target hiview
[ 71%] Built target regtest
[ 76%] Built target regview
[ 80%] Built target tiltdemo
[ 85%] Built target fakenect
[ 90%] Built target record
[ 95%] Built target freenect_sync_static
[100%] Built target cppview
Install the project...
-- Install configuration: ""
-- Installing: /usr/local/lib/libfreenect.0.1.2.dylib
-- Up-to-date: /usr/local/lib/libfreenect.0.1.dylib
-- Up-to-date: /usr/local/lib/libfreenect.dylib
-- Installing: /usr/local/lib/libfreenect.a
-- Installing: /usr/local/include/libfreenect/libfreenect.h
-- Installing: /usr/local/include/libfreenect/libfreenect-registration.h
-- Installing: /usr/local/bin/glview
-- Installing: /usr/local/bin/regview
-- Installing: /usr/local/bin/hiview
-- Installing: /usr/local/bin/glpclview
-- Installing: /usr/local/bin/tiltdemo
-- Installing: /usr/local/lib/fakenect/libfreenect.0.1.2.dylib
-- Up-to-date: /usr/local/lib/fakenect/libfreenect.0.1.dylib
-- Up-to-date: /usr/local/lib/fakenect/libfreenect.dylib
-- Installing: /usr/local/bin/record
-- Installing: /usr/local/bin/fakenect
-- Installing: /usr/local/lib/libfreenect_sync.0.1.2.dylib
-- Up-to-date: /usr/local/lib/libfreenect_sync.0.1.dylib
-- Up-to-date: /usr/local/lib/libfreenect_sync.dylib
-- Installing: /usr/local/lib/libfreenect_sync.a
-- Installing: /usr/local/include/libfreenect/libfreenect_sync.h
-- Installing: /usr/local/include/libfreenect.hpp
-- Installing: /usr/local/bin/cppview
unknown949426026da4:~ ██████████ █

```

Figura 48: Conclusão da Instalação do Programa *OpenKinect*

15. Aqui encontra-se concluída a instalação do *software*. Para testar basta ligar a *Kinect* ao *Mac* e executar o programa “*glview*” com o seguinte comando:

sudo glview

O resultado é o seguinte (**Figura 49**):

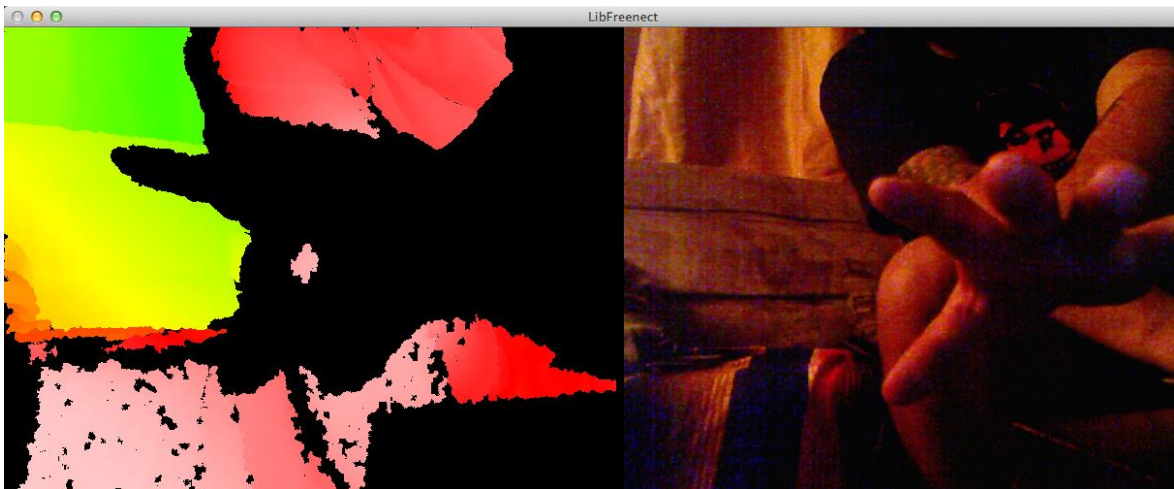


Figura 49: Resultado da Instalação da *Kinect* com o Programa *GLView*

Posteriormente foram realizados testes com o *software Skanect*¹. Este é um dos vários programas que existem no mercado para a construção de modelo 3D (digitalização 3D) a partir de câmaras como a *Kinect*. Foi testada uma versão gratuita que limita a exportação do modelo 3D a 5000 faces e para fins não comerciais. Os testes foram executados com um pequeno objeto e os resultados são relativamente razoáveis tendo em conta o dimensão do mesmo (**Figura 50**).

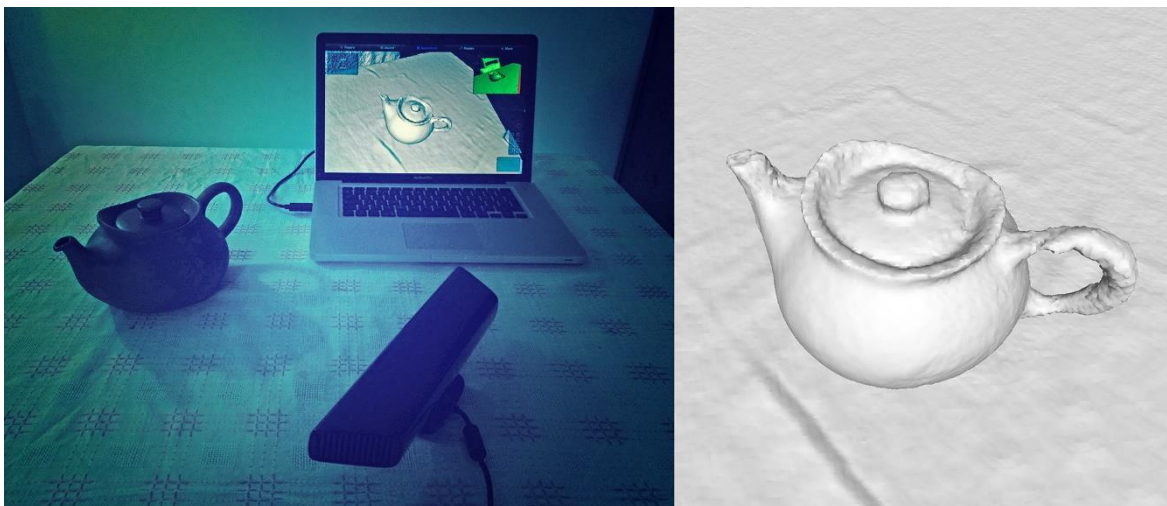


Figura 50: Primeiros Resultados de Digitalização 3D com Recurso à Câmara *Kinect* e ao *Software Skanect*

Com a realização destes testes e alguma investigação mais aprofundada conclui-se que esta tecnologia não era adequada. O problema prende-se com a elevada altura da janela, com a dificuldade em alcançar cada detalhe e com as limitações impostas pela *Kinect*. Limitações estas relacionadas com o cabo de alimentação (especialmente desenvolvido para a *Kinect*). O próprio comprimento do cabo pode influenciar a qualidade dos resultados. Também o *software Skanect* tem limitações quando às distâncias dos objetos a digitalizar, bem como as suas dimensões. Os objetos necessitam de estar centrados numa “*bounding box*” que determina o ponto de focagem e de construção do modelo 3D.

¹ *Skanect*, <http://skanect.occipital.com>, visitado em Julho de 2015

6.1.2 - Autodesk 123D Catch

Posteriormente foi efetuado um levantamento fotográfico à Janela do Capítulo em sombra com uma *Canon EOS 5D* e uma lente 90mm. Este levantamento resultou na aquisição de fotografias de diversos ângulos (possíveis) por forma a registar o máximo detalhe da janela. Recorreu-se então à técnica da fotogrametria usando o *software Autodesk 123D Catch* (versão para PC em ambiente *Windows*) (**Figura 51**).

O resultado carece de detalhe, em especial no canto superior esquerdo onde não foi possível fotografar devido à altura da janela e à ausência de algum local que permitisse fazer esse registo. Ao contrário do anterior, o canto superior direito regista um detalhe superior porque foi possível fotografar essa zona a partir do terraço (com cota superior à janela) existente no lado direito da fachada. Na **Figura 52** é representado no espaço tridimensional a localização dos diversos registos fotográficos efetuados.



Figura 51: Modelo da Janela do Capítulo com Recurso ao *Software Autodesk 123D Catch*

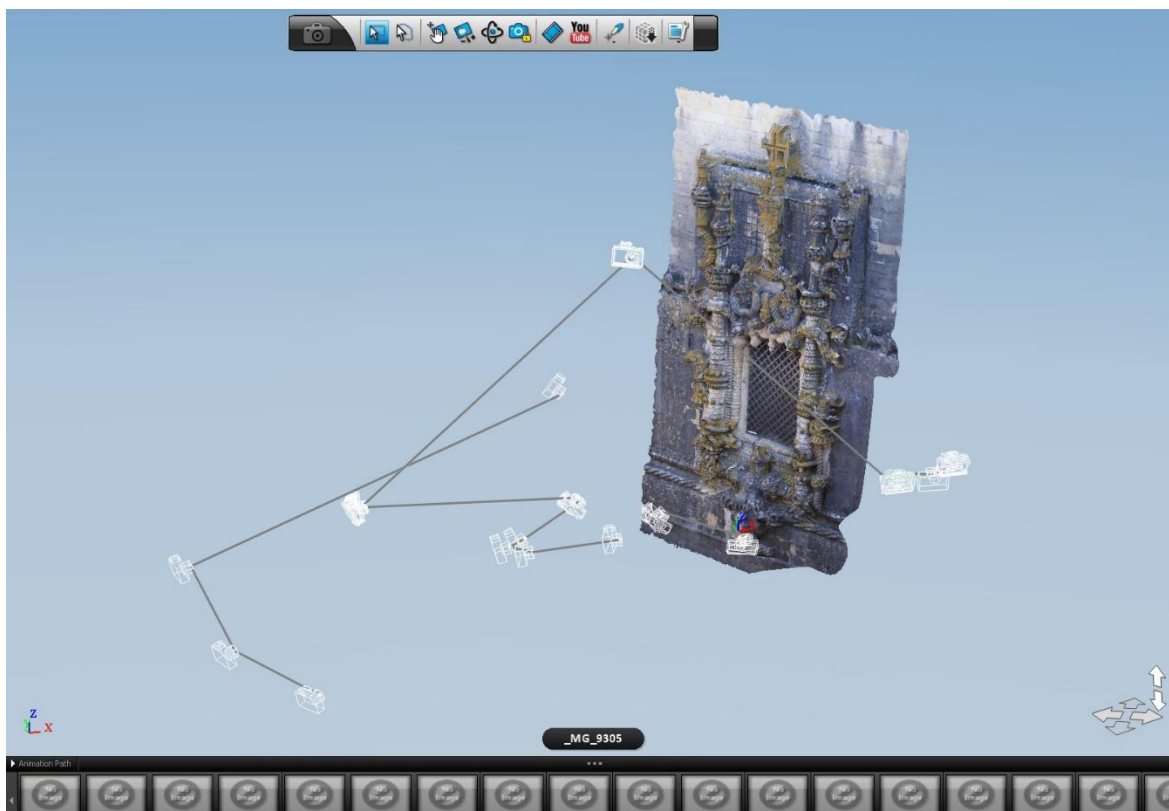


Figura 52: Localização no Espaço Tridimensional dos Diferentes Registos Fotográficos

O resultado não foi suficiente para o objetivo pretendido, as fotografias não abrangiam todos os pormenores da janela e o *software* limita o número de fotografias a usar (70). Desta forma mesmo que fosse possível adquirir mais fotografias com outros pormenores seria impossível incrementar esse detalhe ao modelo anterior.

Inúmeras foram as falhas no modelo 3D obtido pelo *software Autodesk 123D Catch* na primeira abordagem. Desta forma foi necessário procurar na literatura abordagens bem sucedidas à fotogrametria e quais os meios utilizados (*hardware* e *software*). Nesta pesquisa foi possível tomar conhecimento que a Faculdade de Arquitetura da Universidade de Lisboa já teria realizado o levantamento¹ a *laser* e por fotogrametria da Janela do Capítulo em 2011. Posteriormente foi graciosamente facultado o modelo 3D da janela em formato PLY². Este modelo foi o resultado da combinação de centenas de fotografias em alta resolução obtidas de todos os ângulos. Na parte superior da janela foi usado um tripé elevadíssimo para

¹ Faculdade de Arquitetura da Universidade de Lisboa, <http://arch3d.fa.ulisboa.pt/gallery.html>, visitado em Julho de 2015

² PLY - Polygon File Format, <http://paulbourke.net/dataformats/ply>, visitado em Julho de 2015

conseguir fotografar todos os detalhes. A reconstrução 3D foi efetuada com o *software VisualSFM*¹ com um potencial bastante superior ao *123D Catch*, embora menos intuitivo.

6.1.3 - MeshLab

O *Meshlab*² é um *software open-source* de elevado potencial para executar todo o tipo de operações relacionadas com a edição de geometria 3D. Este programa permite a reconstrução de geometrias com recurso a algoritmos avançados, sendo uma ferramenta bastante útil nas mais variadas áreas do 3D. É uma solução para evitar abordar programas mais complexos de modelação tridimensional como o *ZBrush*. Neste trabalho foi fundamental a sua utilização devido à sua capacidade de importar modelos em formato PLY. É demonstrado de seguida a sequência de passos efetuados à abordagem ao modelo da janela facultado pela Faculdade de Arquitetura da Universidade de Lisboa.

1. Importação do ficheiro em formato PLY no *MeshLab*. O modelo importado é extremamente detalhado e tem um total de 10 053 851 de faces (**Figura 53**).

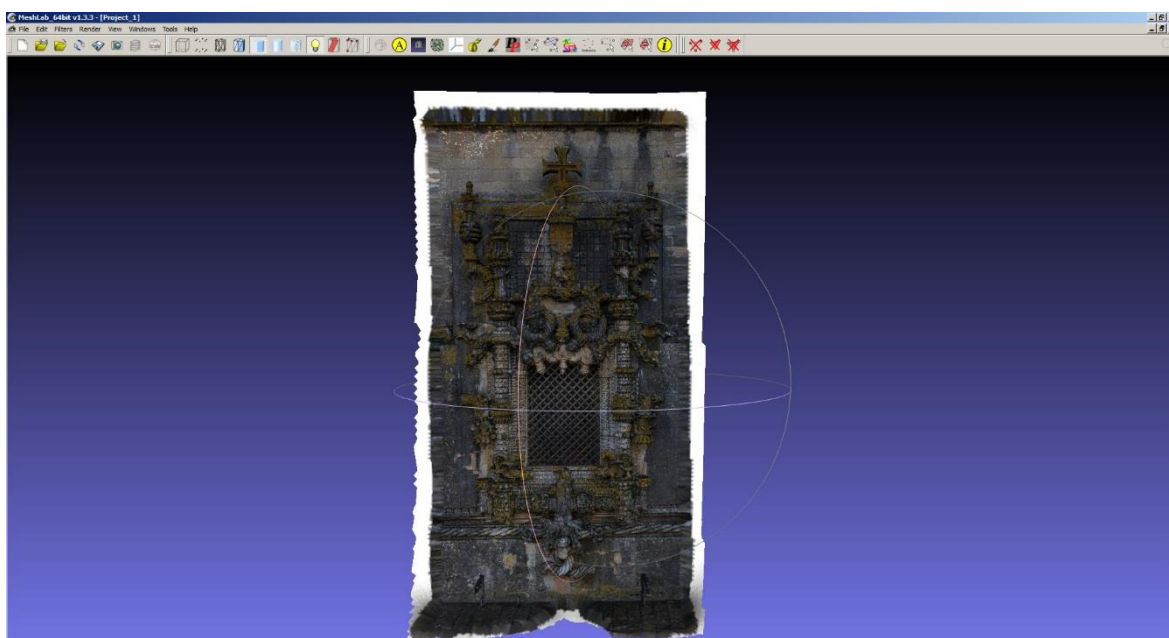


Figura 53: Primeira Importação do Modelo 3D em formato PLY no MeshLab

¹ *VisualSFM*, <http://ccwu.me/vsfm>, visitado em Julho de 2015

² *MeshLab*, <http://meshlab.sourceforge.net>, visitado em Julho de 2015

2. Limpeza e otimização do modelo 3D da janela, eliminando geometria isolada do elemento principal. Para isto procedeu-se aos seguintes passos (**Figura 54**):

Filters -> Cleaning and Repairing -> Remove Isolated pieces (wrt Face Num.)

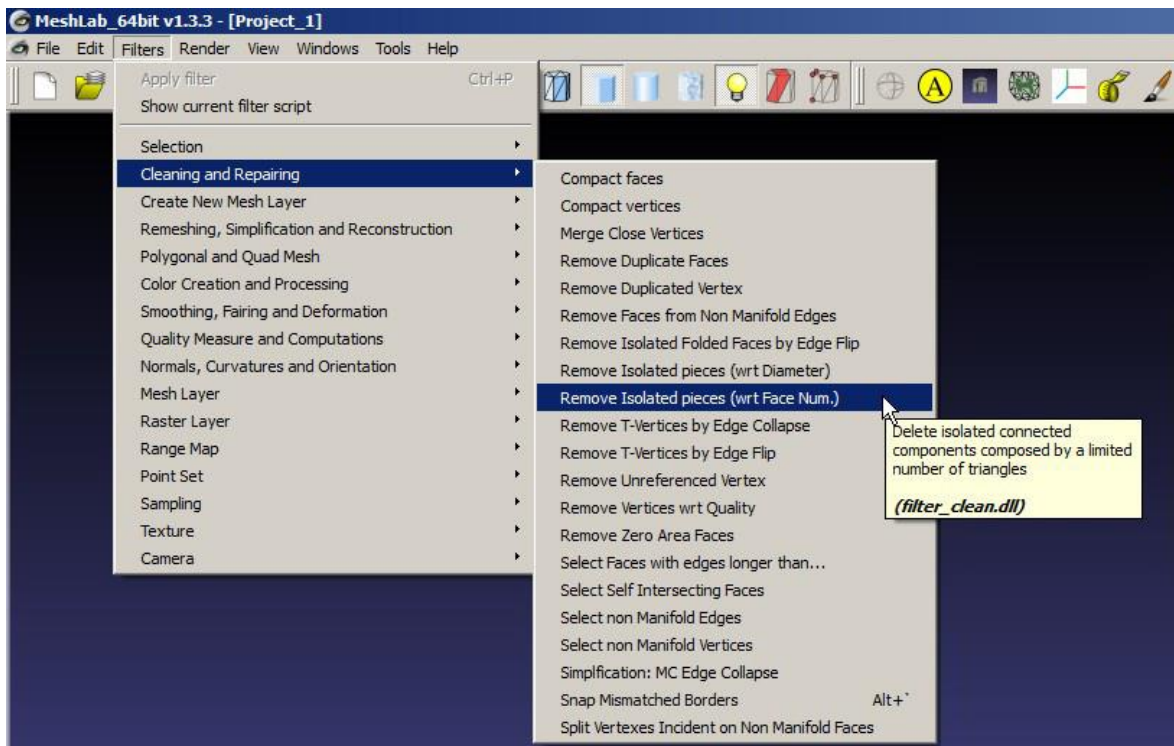


Figura 54: Eliminação de Geometria Isolada

Após esta operação o modelo apresenta uma redução aproximada de 7000 faces.

3. Parametrização por forma a mapear todos os triângulos do modelo num plano bidimensional. Para isto procedeu-se aos seguintes passos (**Figura 55**):

Filters -> Texture -> Parametrization: Trivial Per-Triangle

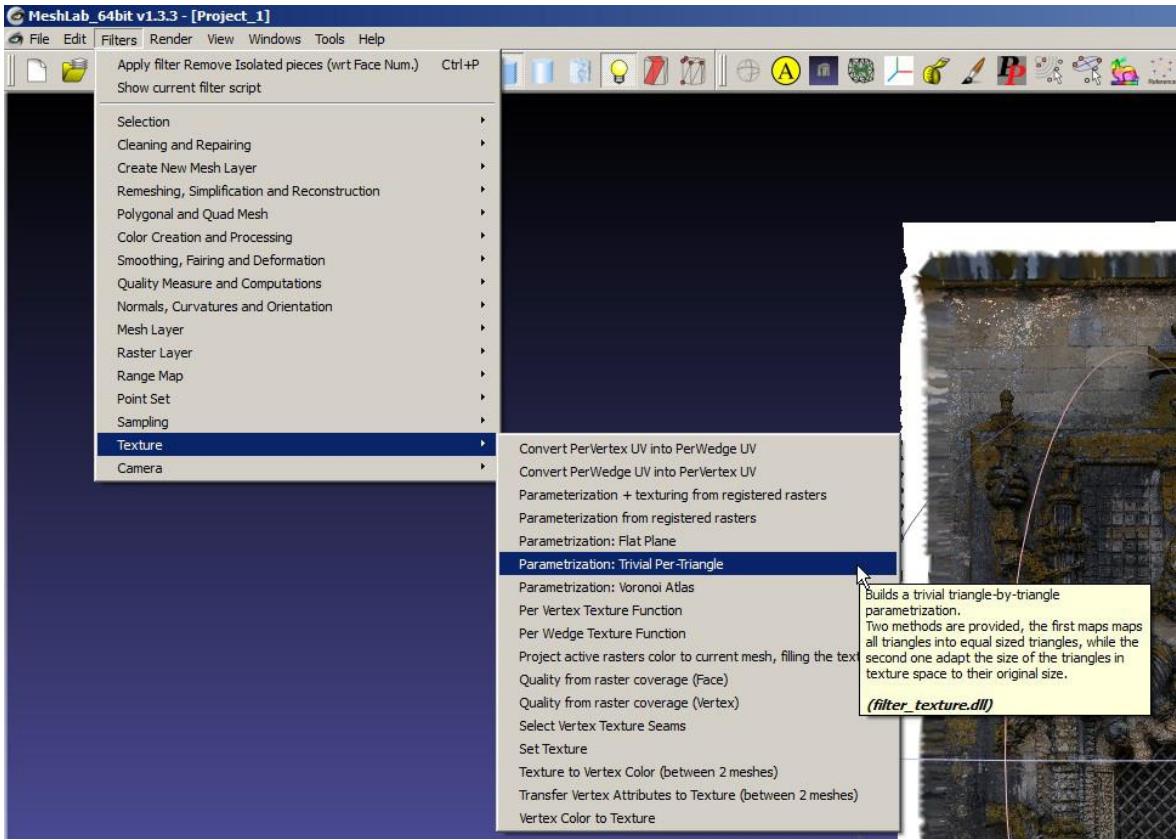


Figura 55: Parametrização do Modelo

- Correção dos *settings* da parametrização, alterando a dimensão da textura para 8192 x 8192 px (pixel) por forma a criar o máximo de detalhe possível (**Figura 56**).

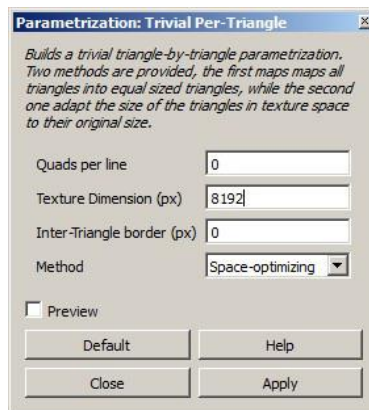


Figura 56: Settings para a Parametrização

- Criação e exportação da textura com base na cor dos vértices e na respetiva parametrização. Para isto procedeu-se aos seguintes passos (**Figura 57**):

Filters -> Texture -> Vertex Color to Texture

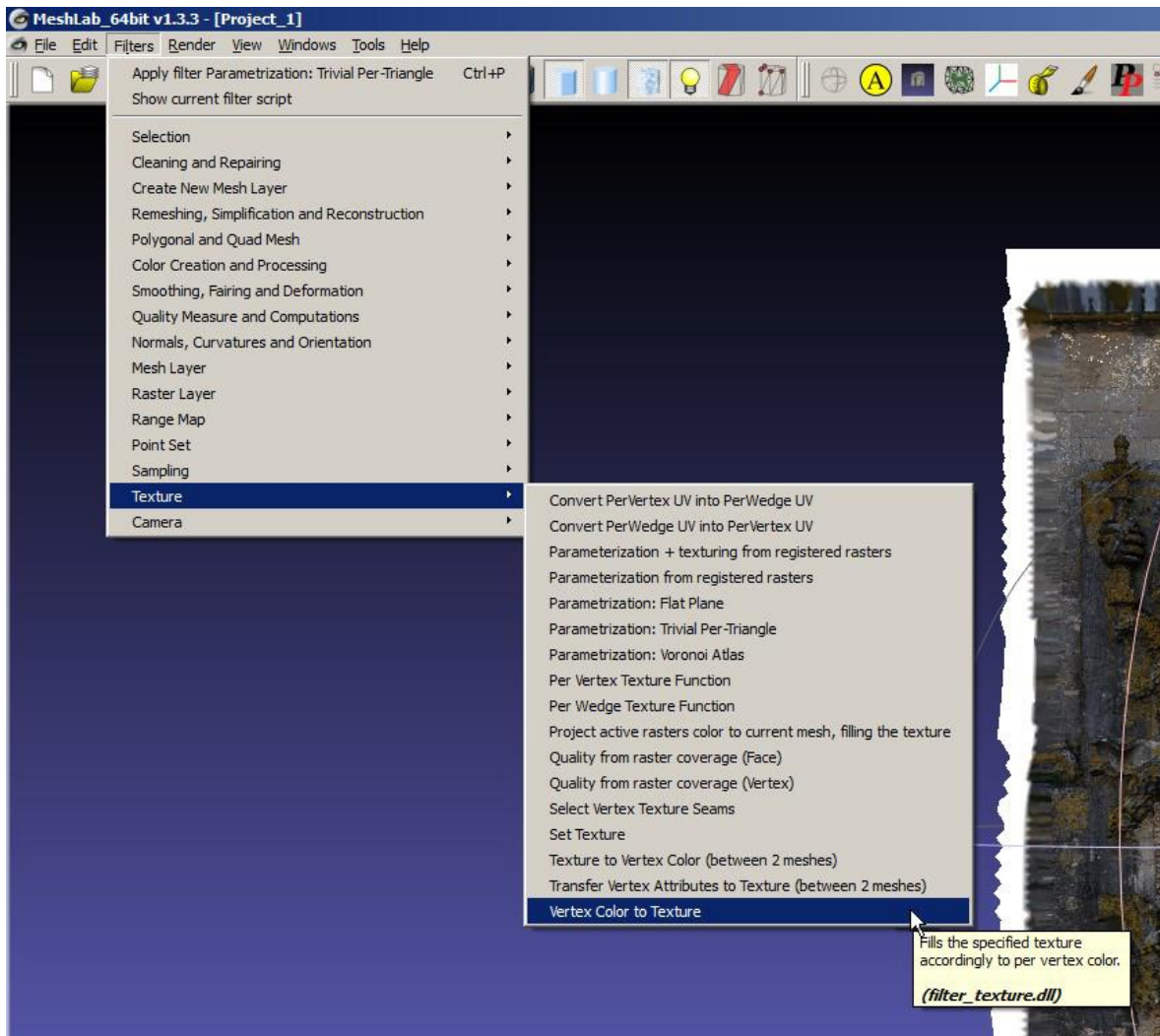


Figura 57: Criação do Ficheiro com a Textura do Modelo

Este processo cria um ficheiro PNG com a textura (**Figura 58**) na pasta onde se encontra o ficheiro PLY.

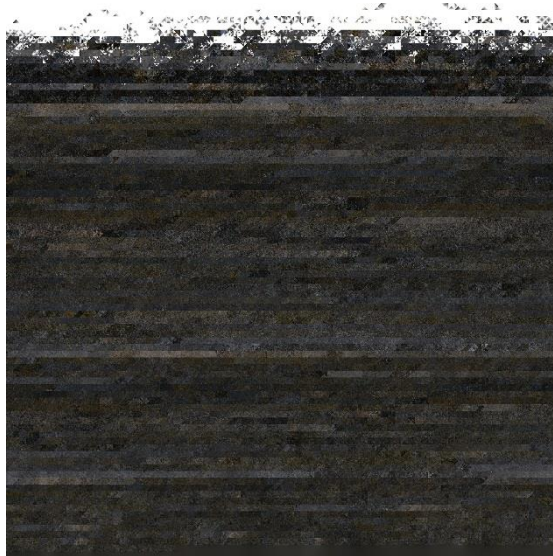


Figura 58: Textura Criada com a Informação de Cor de Cada Triângulo

6. Exportação do modelo 3D da janela em formato OBJ¹ (**Figura 59**). Este formato é universal e pode ser utilizado em qualquer aplicação 3D.

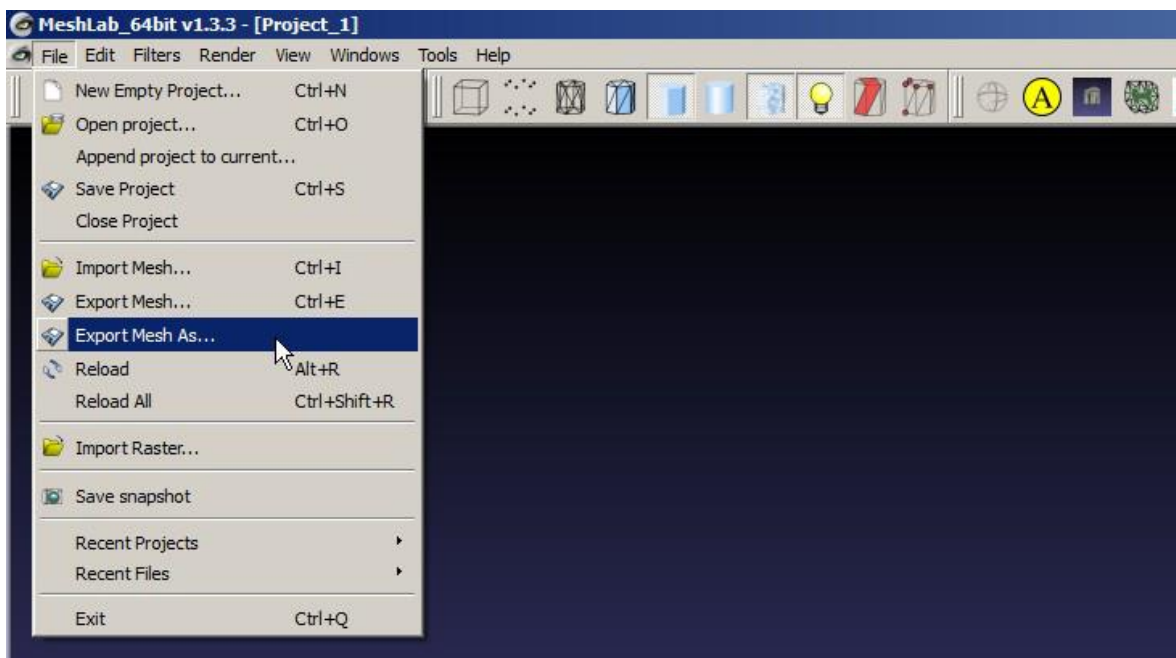


Figura 59: Exportação do Modelo 3D da Janela

¹ WaveFront OBJ, <http://people.cs.clemson.edu/~dhouse/courses/405/docs/brief-obj-file-format.html>, visitado em Agosto de 2015.

7. Alteração dos *settings*, escolhendo as opções “Normal”, “Color” e “TextCoord” por forma a incluir no ficheiro a informação das normais¹ e das coordenadas de mapeamento² (Figura 60).

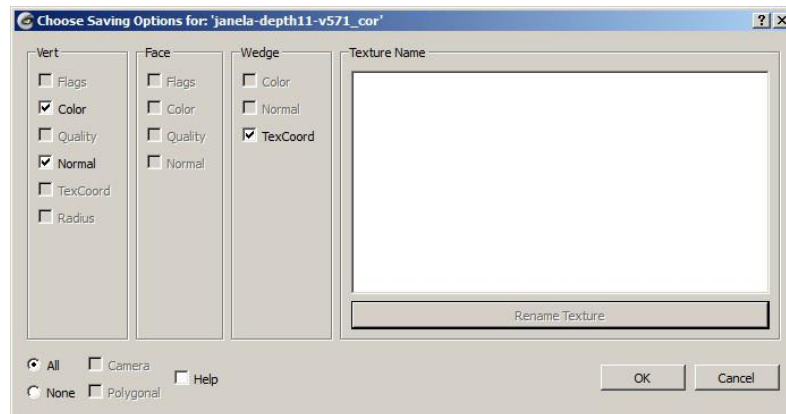


Figura 60: Opções para Gravar o Ficheiro

Após a esta sequência de passos agora é possível ter um ficheiro OBJ com o modelo 3D da janela e outro ficheiro PNG com a respetiva textura.

6.2 - Otimização do Modelo 3D

O *software Pixologic ZBrush* é utilizado em toda a indústria relacionada com a produção de todo o tipo de objetos tridimensionais, desde a criação de personagens híper detalhadas (Figura 61) para videojogos e cinema, até à impressão 3D. Atualmente é praticamente impossível responder às exigências de mercado sem recorrer a este *software*.

¹ Orientação de cada face do objeto 3D

² Localização no espaço bidimensional de cada face do objeto 3D



Fonte: *ZBrush Central*, <http://www.zbrushcentral.com>, Autor: Hossein Diba

Figura 61: Personagem 3D Modelada em ZBrush

6.2.1 - Limpeza de Artefactos

O modelo da janela com 5,23 milhões de vértices foi importado em *ZBrush*. De seguida procedeu-se à eliminação de artefactos (**Figura 62**) resultantes do processo de fotogrametria.

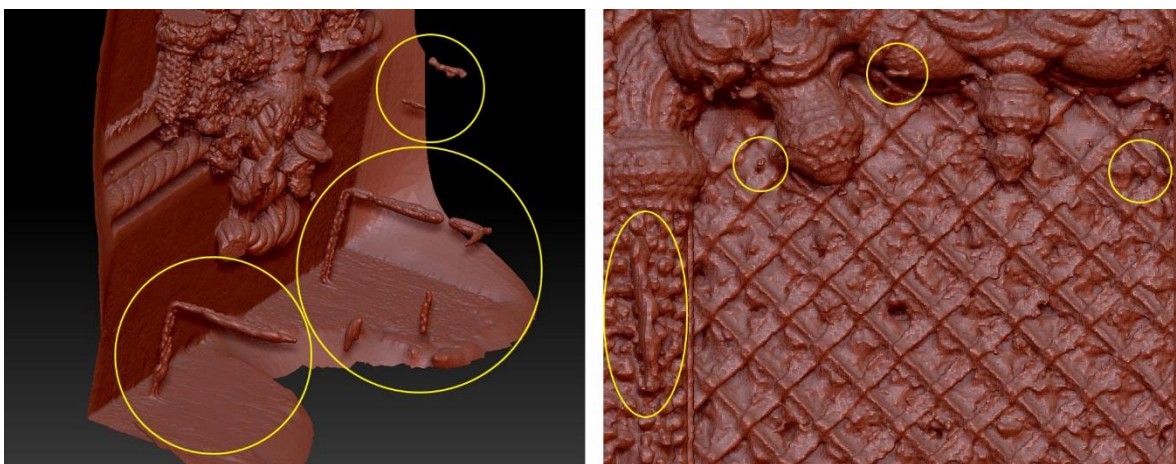


Figura 62: Eliminação de Artefactos na Geometria do Modelo

Foi também eliminada geometria sem detalhe nas extremidades do modelo (**Figura 63** e **Figura 64**). A zona do gradeamento metálico da janela é muito difícil de resolver com precisão em fotogrametria, desta forma optou-se por eliminar esta geometria (**Figura 65**) e modelar posteriormente esta parte no *software Autodesk Maya*..



Figura 63: Modelo Inicial Importado para o ZBrush



Figura 64: Eliminação de Artefactos Resultantes da Fotogrametria



Figura 65: Eliminação da Geometria do Gradeamento

Após esta otimização inicial o modelo tinha 4.36 milhões de vértices, sendo importada a textura gerada no *MeshLab* e aplicada ao modelo (**Figura 66**). Seguidamente o modelo foi exportado (em formato OBJ) para *Maya* e ajustada a sua posição para X:0, Y:0, Z:0 de forma a ficar centrado no ponto de origem. Foi efetuada uma rotação de 90° no eixo X para ficar corretamente posicionado na vertical. Este problema deve-se às diferenças entre os sistemas de coordenadas entre programas.

6.2.2 - Criação do Modelo *Low Poly*

Novamente importado para o *ZBrush* foi nesta fase executada uma otimização para 50% dos polígonos iniciais. Para isto recorreu-se ao *Plug-in* do *ZBrush* “*Decimation Master*” e

executado o “*Pre-process Current*” (**Figura 67**). Com a percentagem de 50% selecionada é efetuado o “*Decimate Current*” para reduzir o numero de polígonos de 4,36 milhões para 2,18 milhões. Só é possível executar esta operação sem a opção “*Keep UV’s*” selecionada. Desta forma o modelo perde os *UV’s* (coordenadas de mapeamento) originais do *MeshLab* e respetiva textura (**Figura 68**).



Figura 66: Importação da Textura

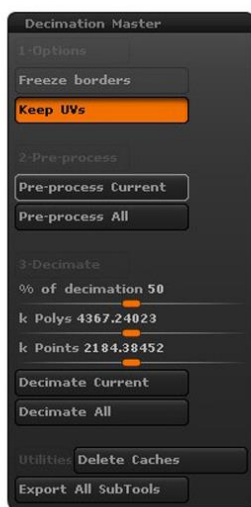


Figura 67: Decimation Master



Figura 68: Modelo sem UV's

De seguida foram executados mais 4 passos adicionais com o *Plug-in “Decimation Master”*, reduzindo o numero de vértices do modelo sucessivamente até chegar aos 136 524 polígonos (**Figura 69**). O objetivo da criação deste modelo *Low Poly* (reduzido numero de polígonos) é a sua utilização no *software Unity* de forma a não consumir demasiados recursos do computador.



**Figura 69: Modelo Inicial com 4,36 Milhões (Esquerda),
Modelo Final com 136 524 Polígonos (Direita)**

6.2.3 - Transferência de Textura Para o Modelo *Low Poly*

Como já foi referido, durante o processo de otimização do modelo com recurso ao *Decimation Master* são perdidos os *UV's*. Desta forma foi necessário utilizar uma técnica para transferir a textura do modelo *High Poly* (elevado numero de polígonos) para o *Low Poly*.

Seguidamente é apresentada a técnica utilizada.

1. Criação de duas “*SubTools*” (camadas com objetos 3D) no *ZBrush*, uma com o modelo *High Poly* e respetiva textura e outra com o modelo final *Low Poly* (**Figura 70**).



**Figura 70: Modelo 3D da Janela *High Poly* com Textura e *Low Poly* sem Textura.
Respetivas “*SubTools*”**

2. Conversão da textura do modelo *High Poly* para *Polypaint*. Neste processo são transferidos os detalhes da textura proveniente do *MeshLab* para a cor da superfície do modelo, da mesma forma que uma pintura manual sobre o modelo.
3. Subdivisão do modelo *Low Poly* para 3,28 milhões de vértices, isto serve para receber mais detalhes da textura proveniente do modelo *High Poly*.
4. Criação de um “*Morph Target*” que memoriza a deformação atual do modelo *Low Poly* (**Figura 71**).



Figura 71: Subdivisão do Modelo e Criação de “*Morph Target*”

5. Projeção da textura no modelo *Low Poly* através do “*Project*” (**Figura 72**).

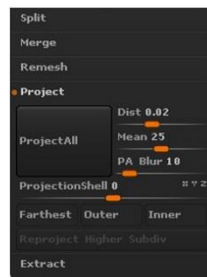
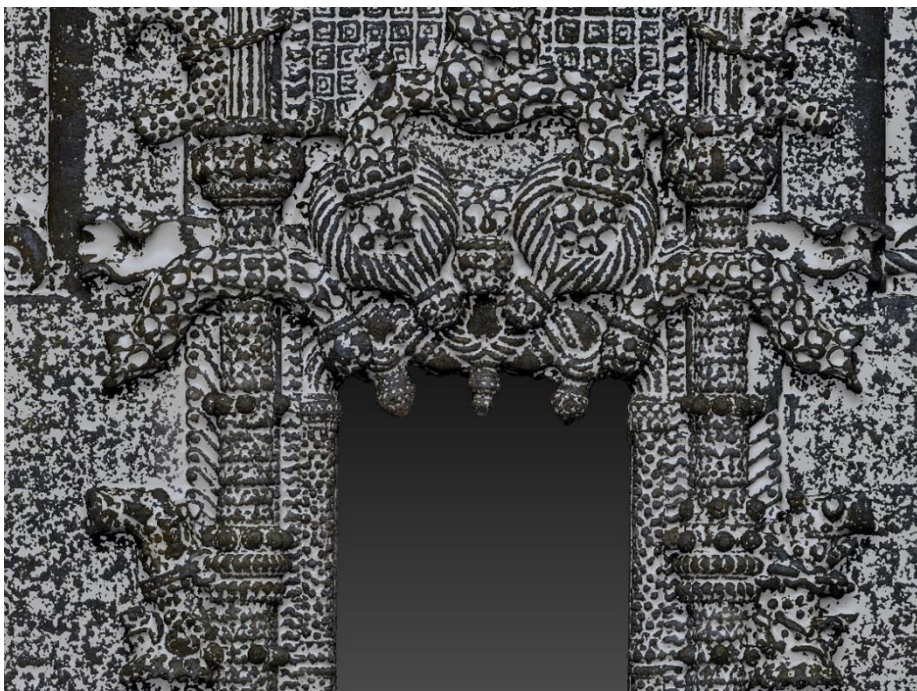


Figura 72: Projeção dos Pormenores da Textura/Cor do Modelo *High Poly* para o *Low Poly*

Ao ativar o “Colorize” no “Polypaint” é possível ver a textura que foi projetada (Figura 73).

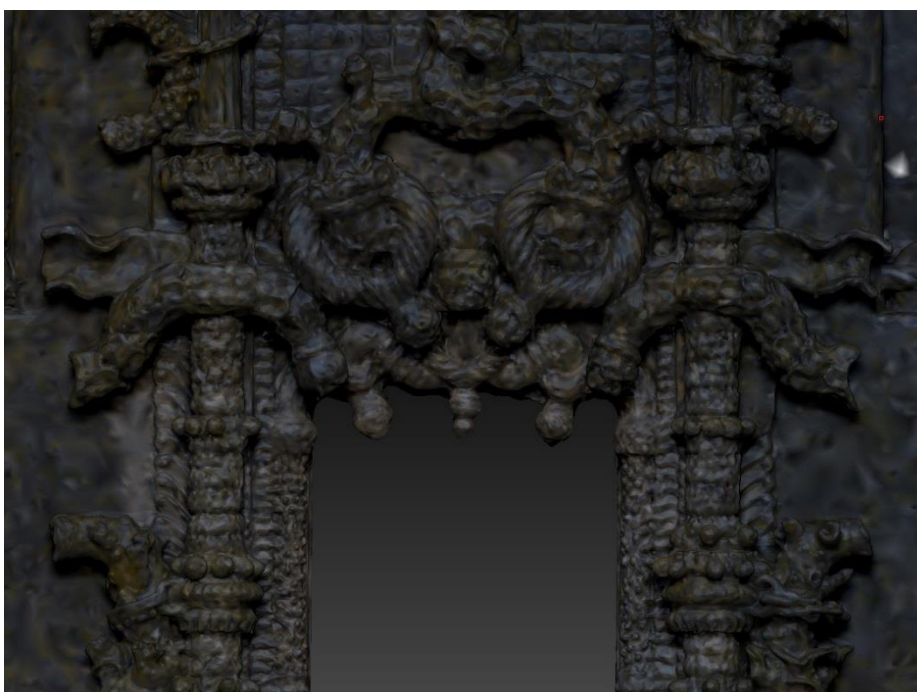


Figura 73: Modelo *LowPoly* com a Textura Projetada

6. Criação de um novo *UV Map* através do “*AUVTiles*” (*Adaptive UV Tiles*) no modelo *Low Poly* com a resolução de 8192 x 8192 px (**Figura 74**).



Figura 74: Criação de *UV Map*

7. Criação de uma nova textura a partir do “*Polypaint*” do modelo *Low Poly* (**Figura 75**).

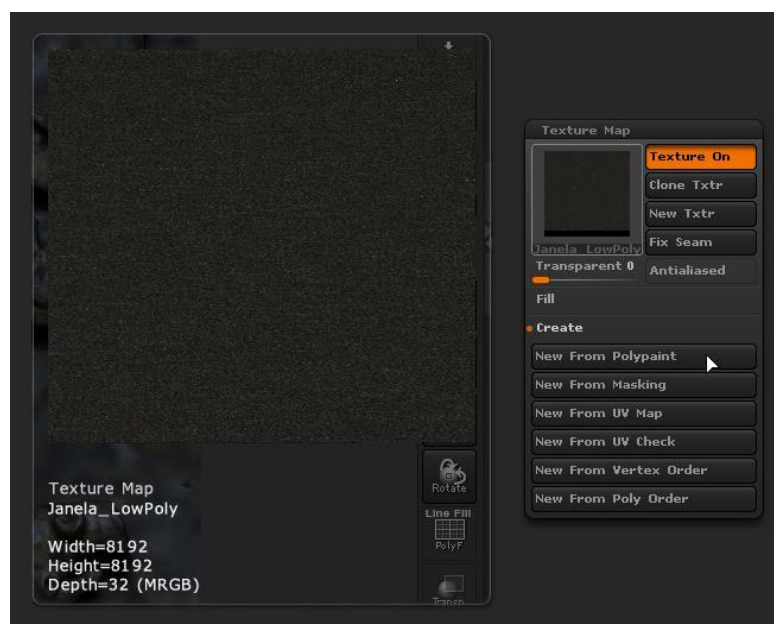


Figura 75: Textura Criada a Partir do *Polypaint* do Modelo *Low Poly*

8. Exportação do modelo *Low Poly* com 136 524 polígonos em formato OBJ, seguidamente da textura produzida com 8192 x 9192 px em formato PNG.

Nesta fase o modelo 3D da janela está otimizado e preparado para ser utilizado em qualquer *software* 3D, bem como a respetiva textura proveniente do *MeshLab*.

Posteriormente foi também efetuado um teste de separação e reconstrução de um elemento da janela em *ZBrush*. O elemento escolhido foi a cruz por ser o primeiro do topo da janela e também o mais objetivo e fácil de individualizar. Esta tarefa é extremamente complexa e morosa pois é necessário – à semelhança de um escultor e artista – reconstruir e esculpir manualmente (em formato digital) a superfície do elemento da janela. O objetivo seria conseguir peças separadas e com geometria livre de artefactos provenientes da fotogrametria. Como resultado final pretende-se um modelo com a volumetria essencial, sem contemplar os pormenores mais minuciosos do objeto real (**Figura 76**). Os musgos, líquenes e ervas existentes na janela não permitem a perfeita análise da superfície da pedra dos elementos.

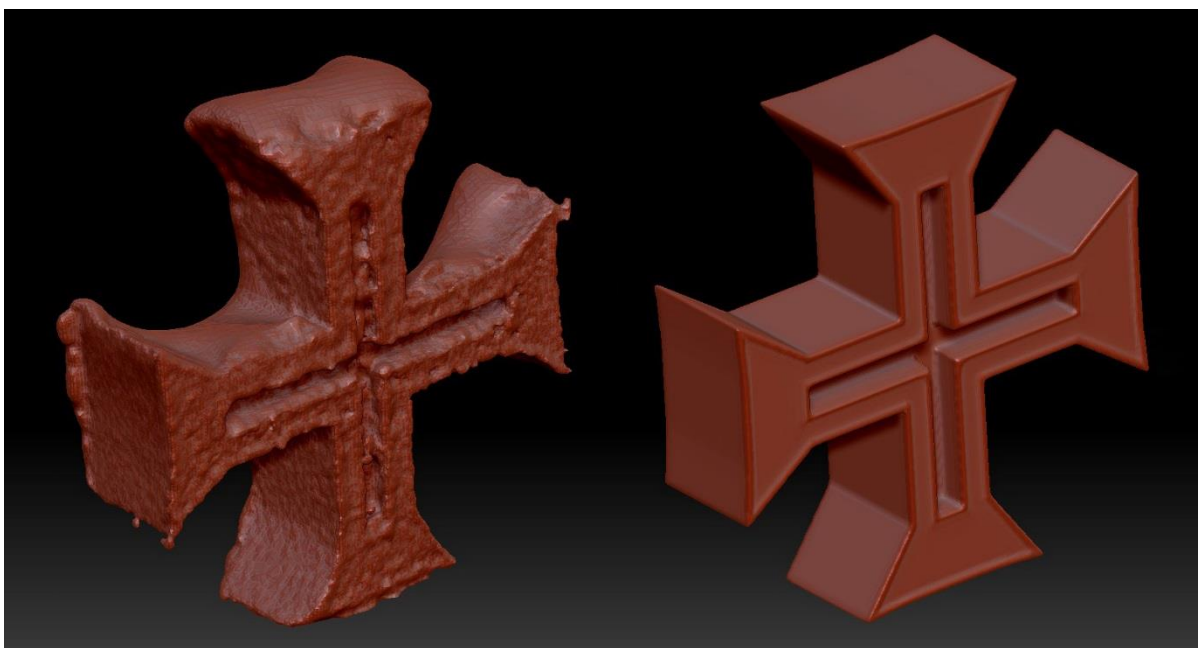


Figura 76: Primeiro Elemento da Janela a ser Reconstituído (à Esquerda o Modelo da Cruz Proveniente da Fotogrametria, à Direita o Modelo já Reconstituído e Otimizado)

6.2.4 - Modelação do Gradeamento

Como a geometria do gradeamento inicial estava demasiado irregular optou-se por eliminar essa zona. Assim foi utilizado o *software Autodesk Maya* para modelar o gradeamento com base nas fotografias de referência e de forma otimizada (**Figura 77**).

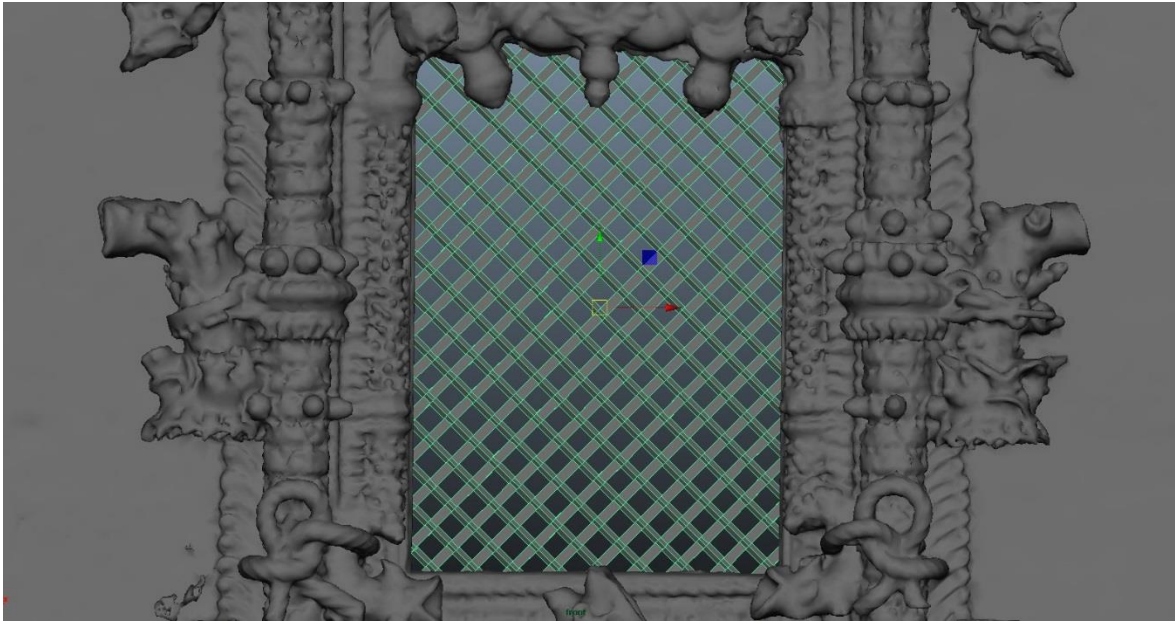


Figura 77: Modelação do Gradeamento em *Maya*

6.3 - Aplicação Interativa em *Unity*

O *software Unity*¹ é uma plataforma de desenvolvimento flexível e eficiente para a criação de jogos e aplicações interativas 2D e 3D em multiplataforma. É um sistema completo e acessível para iniciar a criação de conteúdos avançados permitindo a ligação a uma rede mundial de *developers*. Mesmo usando a versão gratuita é possível desenvolver conteúdos com extrema qualidade. Existem diferenças significativas entre a versão gratuita e a profissional, no entanto o essencial mantém-se inalterado como é o caso do motor de jogo (*game engine*) com todos os recursos (Figura 78).

UNITY 5		PERSONAL EDITION	PROFESSIONAL EDITION
Mecanismo com todos os recursos	?	✓	✓
Livre de royalties	?	✓	✓
Todas as plataformas (com limitações)	?	✓	✓
Splash screen personalizável		✗	✓
Unity Cloud Build Pro - 12 meses	?	✗	✓
Unity Analytics Pro	?	✗	✓
Team License	?	✗	✓
Prioridade para o tratamento de bugs	?	✗	✓
Game Performance Reporting	?	✗	✓
Acesso à versões beta	?	✗	✓
Renda e investimentos ilimitados	?	✗	✓
Futuras plataformas incluídas	?	✗	✓
Skin do editor Profissional		✗	✓
Asset Store nível 11	?	✗	✓
Features da Comunidade do Profissional Edition	?	✗	✓
Acesso ao código-fonte	?	✗	\$
Premium Support	?	\$	\$

Fonte: *Unity*, <https://unity3d.com/pt/get-unity>
Figura 78: Diferenças Entre a Versão Gratuita e Profissional do *Unity*

¹ *Unity*, <http://unity3d.com>, visitado em Agosto de 2015

6.3.1 - Importação do Modelo da Janela

Atualmente os jogos mais recentes para as consolas *PS3* e *Xbox* tem personagens com limites de polígonos entre os 5000 e os 7000 triângulos (“Unity - Manual: Modeling Characters for Optimal Performance,” 2015). Inicialmente ponderou-se simplificar o modelo da janela por forma a otimizar os recursos usados pela aplicação, no entanto o modelo iria perder demasiado detalhe importante.

O modelo final *Low Poly* proveniente do *ZBrush* tem 271 768 triângulos, no entanto o *Unity* não pode ter objetos com mais de 65 534 triângulos. Quando foi efetuada a importação a geometria foi automaticamente subdividida em 13 partes (**Figura 79**) pelo programa.

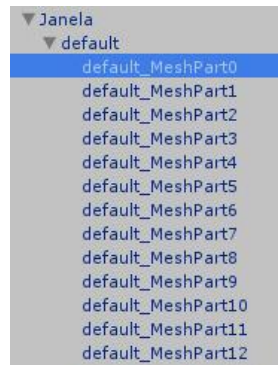


Figura 79: Divisão Automática do Modelo em 13 Partes

De seguida foi também importado o modelo 3D do gradeamento modelado em *Maya*.

6.3.2 - Câmara e Iluminação

Foi utilizada uma câmara com um “*field of view*” de 60mm para não provocar distorção no cenário e com um “*background*” sólido a preto. A iluminação tem uma tonalidade amarelada para proporcionar cores mais “quentes” em todo o cenário, a luz direta provoca sombras com maior contraste e realça os detalhes dos objetos 3D (**Figura 80**).

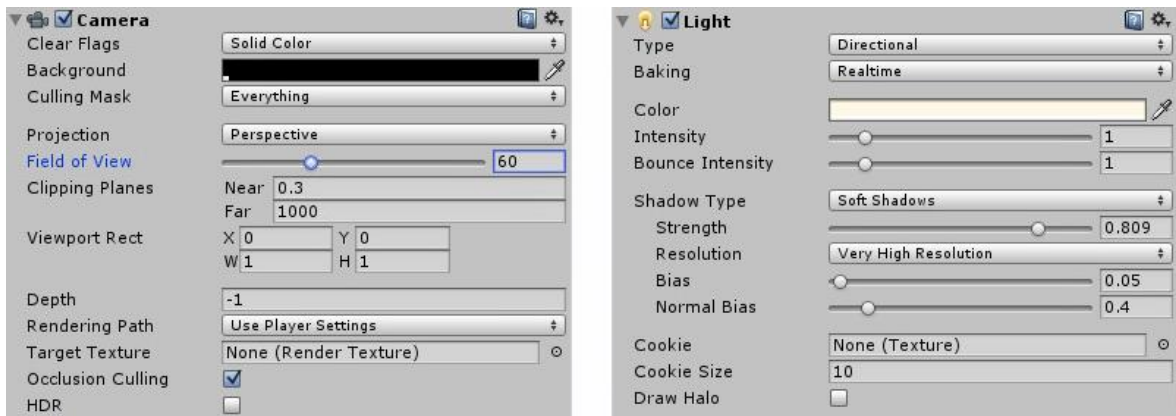


Figura 80: Settings de Câmera e Luz

De seguida a luz foi orientada para conseguir a iluminação mais adequada (Figura 81).



Figura 81: Conjunto dos Vários Elementos da Aplicação

6.3.3 - Shader (Material)

Para a visualização isolada de objetos é utilizado o Shader (material) “Legacy Shaders / Bumped Specular” do Unity. Este shader permite usar uma cor ou textura base (RGB) e uma

textura *normal map*¹ para o *bump* (relevo da superfície). Neste caso foi usada uma textura de pedra genérica pintada manualmente em *Photoshop*. Posteriormente foi feita uma cópia e convertida em *normal map* (**Figura 82**).

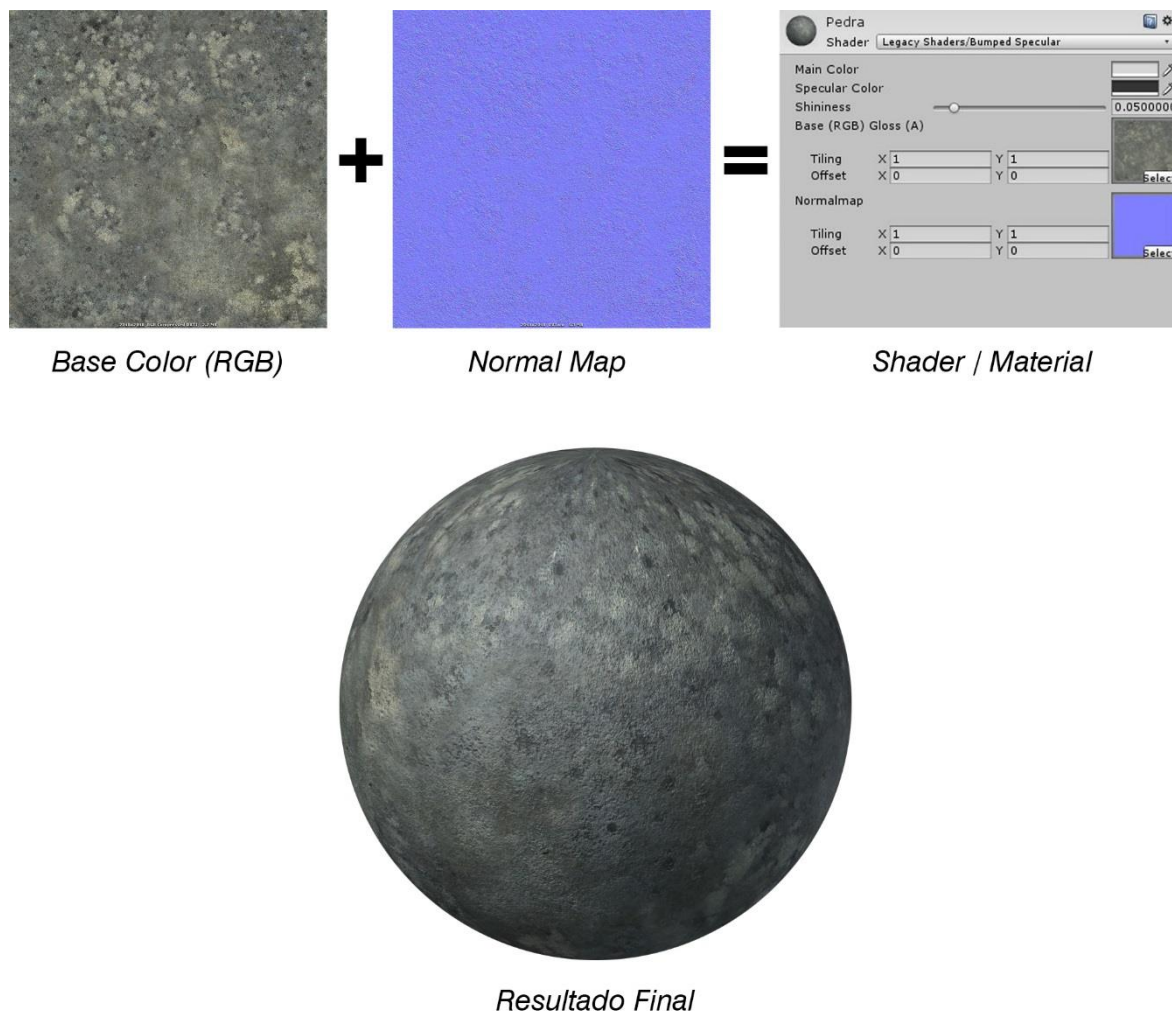


Figura 82: Shader de Pedra

Para os restantes objetos da aplicação foi usado o mesmo tipo de *shader*, com exceção da moldura da visualização dos objetos 3D isolados, neste caso foi necessário aplicar um *shader* com transparência para usar o canal de alfa da textura (**Figura 83**). Desta forma o centro do objeto fica transparente para permitir a visualização dos objetos 3D.

¹ *Digital Tutors*, <http://blog.digitaltutors.com/bump-normal-and-displacement-maps>, visitado em Agosto de 2015

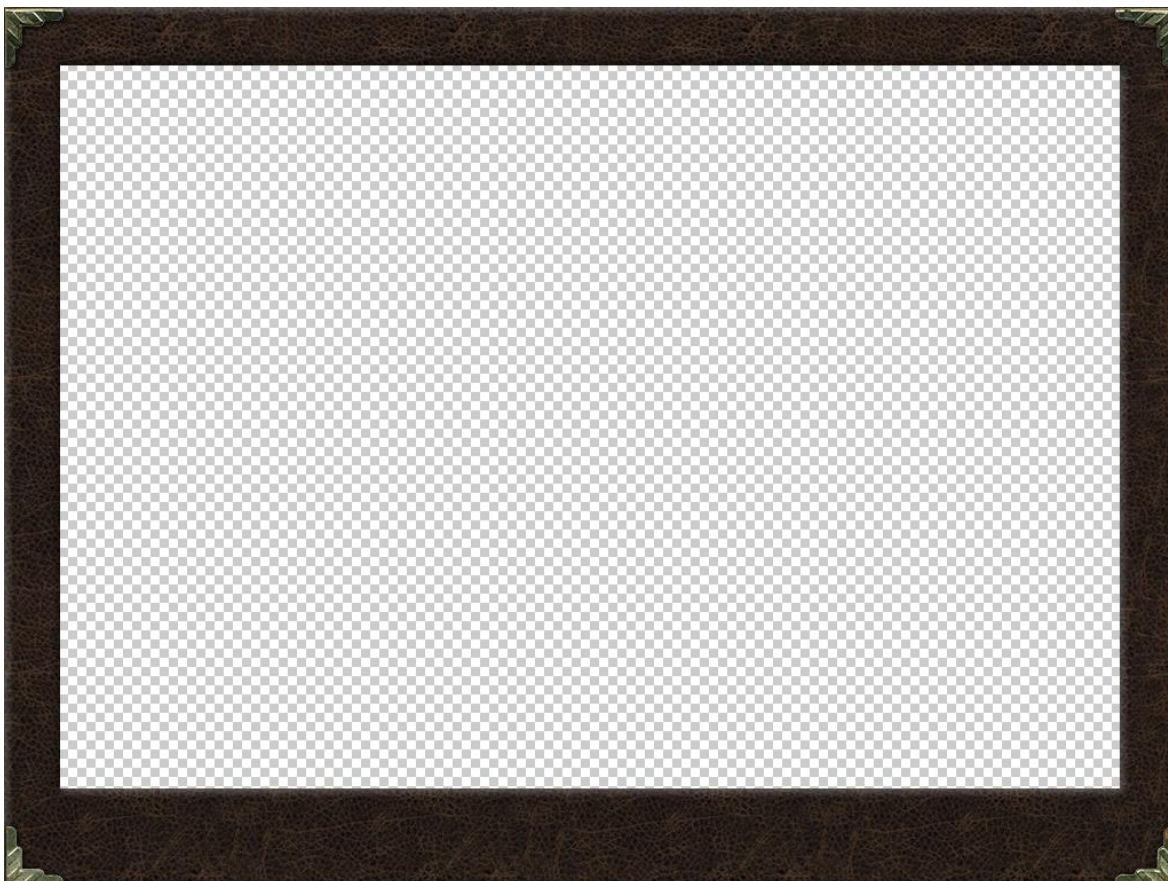


Figura 83: Moldura com *Shader* Transparente

6.3.4 - Rotação do Modelo da Janela

Uma das funcionalidades propostas para a aplicação era a possibilidade de rodar o modelo 3D da janela de forma a perceber a tridimensionalidade da mesma. Uma vez que se pretende representar o exterior da janela limitou-se a rotação por forma a não perder por completo a vista frontal.

Foi criado um *GameObject / 3D Object / Cube* no *Unity* e colocado no topo da hierarquia (*parent*) relativamente ao modelo da janela (*child*), isto permite que o *script* posterior possa operar sobre um objeto, devidamente proporcional e com o respetivo ponto *pivot*¹ alinhado ao centro. Desta forma é possível ajustar a posição do objeto da janela, tendo sempre como referência o ponto *pivot* do cubo, sobre o qual é aplicado o *script*. A rotação do cubo afeta da mesma forma a janela.

¹ *Pivot* é o ponto a partir do qual são feitas transformações euclidianas a um objeto 3D.

De seguida é apresentado parte do código em *JavaScript* usado para rodar o objeto 3D da janela.

```
//Limita a velocidade de rotação
var limitRotation:float = 2;
var delay:float = 10;
var mouseDown : boolean = false;

//Câmara que funciona como referência e relativamente à qual é feita a
rotação
var referenceCamera:Transform;

//Variáveis para o Raycast
var ray : Ray;
var hit : RaycastHit;

function Update () {
    ray = Camera.main.ScreenPointToRay(Input.mousePosition);

    //Aquisição da posição do cursor
    var rotationX:float = Input.GetAxis("Mouse X") * limitRotation;
    var rotationY:float = Input.GetAxis("Mouse Y") * limitRotation;

    //Deteta a colisão com a janela e se o botão esquerdo do rato está
pressionado
    if(Physics.Raycast(ray, hit) && hit.collider.name == "Janela" &&
Input.GetMouseButtonDown(0)) {
        mouseDown = true;

        //Esconde os planos laterais
        GameObject.Find("Plane_R").GetComponent.<Renderer>().enabled =
false;
        GameObject.Find("Plane_L").GetComponent.<Renderer>().enabled =
false;

        //Esconde o Menu da simbologia

        GameObject.Find("Menu_Cruz_de_Cristo").GetComponent.<Renderer>().enabled
= false;

        GameObject.Find("Menu_Escudo_Coroado").GetComponent.<Renderer>().enabled
= false;

        GameObject.Find("Menu_Esfera_Armilar").GetComponent.<Renderer>().enabled
= false;
        GameObject.Find("Menu_Cao").GetComponent.<Renderer>().enabled =
false;
        GameObject.Find("Menu_Gato").GetComponent.<Renderer>().enabled =
false;

        GameObject.Find("Menu_Ondas_do_Mar").GetComponent.<Renderer>().enabled =
false;
        GameObject.Find("Menu_Salinas").GetComponent.<Renderer>().enabled
= false;

        GameObject.Find("Menu_Velas_Amarradas").GetComponent.<Renderer>().enabled
= false;
```

```

GameObject.Find("Menu_Alcachofra").GetComponent.<Renderer>().enabled =
false;

GameObject.Find("Menu_Tronco_de_Palmeira").GetComponent.<Renderer>().enabled = false;

GameObject.Find("Menu_Algas_Corais").GetComponent.<Renderer>().enabled =
false;

GameObject.Find("Menu_Nos_das_Amarras_dos_Navios").GetComponent.<Renderer>().enabled = false;

GameObject.Find("Menu_Plantas_Exoticas").GetComponent.<Renderer>().enabled = false;

GameObject.Find("Menu_Busto_de_Marinheiro").GetComponent.<Renderer>().enabled = false;

GameObject.Find("Menu_Visualizacao_3D").GetComponent.<Renderer>().enabled = false;
}

//Deteta se o botão esquerdo do rato não está pressionado
if(Input.GetMouseButtonUp(0)){
    mouseDown = false;

    //Mostra os planos laterais
    GameObject.Find("Plane_R").GetComponent.<Renderer>().enabled =
true;
    GameObject.Find("Plane_L").GetComponent.<Renderer>().enabled =
true;

    //Mostra o Menu da simbologia

    GameObject.Find("Menu_Cruz_de_Cristo").GetComponent.<Renderer>().enabled =
true;

    GameObject.Find("Menu_Escudo_Coroado").GetComponent.<Renderer>().enabled =
true;

    GameObject.Find("Menu_Esfera_Armilar").GetComponent.<Renderer>().enabled =
true;
    GameObject.Find("Menu_Cao").GetComponent.<Renderer>().enabled =
true;
    GameObject.Find("Menu_Gato").GetComponent.<Renderer>().enabled =
true;

    GameObject.Find("Menu_Ondas_do_Mar").GetComponent.<Renderer>().enabled =
true;
    GameObject.Find("Menu_Salinhas").GetComponent.<Renderer>().enabled =
true;

    GameObject.Find("Menu_Velas_Amarradas").GetComponent.<Renderer>().enabled =
true;

    GameObject.Find("Menu_Alcachofra").GetComponent.<Renderer>().enabled =
true;

```

```

GameObject.Find("Menu_Tronco_de_Palmeira").GetComponent.<Renderer>().enabled = true;

GameObject.Find("Menu_Algas_Corais").GetComponent.<Renderer>().enabled = true;

GameObject.Find("Menu_Nos_das_Amarras_dos_Navios").GetComponent.<Renderer>().enabled = true;

GameObject.Find("Menu_Plantas_Exoticas").GetComponent.<Renderer>().enabled = true;

GameObject.Find("Menu_Busto_de_Marinheiro").GetComponent.<Renderer>().enabled = true;

GameObject.Find("Menu_Visualizacao_3D").GetComponent.<Renderer>().enabled = true;
}

//Roda o objeto da janela em torno do eixo "up" e "right" da câmara
if(mouseDown == true){
    transform.RotateAroundLocal( referenceCamera.up, -Mathf.Deg2Rad * rotationX / delay );
    transform.RotateAroundLocal( referenceCamera.right, Mathf.Deg2Rad * rotationY / delay );
}

//Coloca o objeto da janela na posição inicial
if(mouseDown == false){
    GameObject.Find("Cube").transform.position.x = 0;
    GameObject.Find("Cube").transform.position.y = -0.44;
    GameObject.Find("Cube").transform.position.z = 4.57;
    GameObject.Find("Cube").transform.rotation.x = 0;
    GameObject.Find("Cube").transform.rotation.y = 180;
    GameObject.Find("Cube").transform.rotation.z = 0;
    GameObject.Find("Cube").transform.localScale.x = 1;
    GameObject.Find("Cube").transform.localScale.y = 1;
    GameObject.Find("Cube").transform.localScale.z = 1;
}
}

```

O seguinte código serve para esconder o objeto “Cube”. Uma vez que este só serve de base e *pivot* para a rotação do modelo da janela não necessita de estar visível.

```

GameObject.Find("Cube").GetComponent.<Renderer>().enabled = false;

```

6.3.5 - Menu com a Simbologia da Janela

Pretendia-se proporcionar ao utilizador a seleção no menu de qualquer um dos símbolos e a sua identificação automática no modelo da janela. Para isto foi necessário pintar manualmente sobre a geometria cada elemento simbólico em *ZBrush* e exportar a textura com a nova parte pintada criada a partir da cor dos polígonos (**Figura 84**).



Figura 84: Pintura em *ZBrush* de Cada Elemento Simbólico

Todas as novas texturas criadas foram devidamente identificadas com o respetivo nome do ficheiro de acordo com o elemento pintado. Posteriormente foi criado um material e aplicado à janela com a respetiva textura inicialmente exportada a partir do *ZBrush* (**Figura 85**).

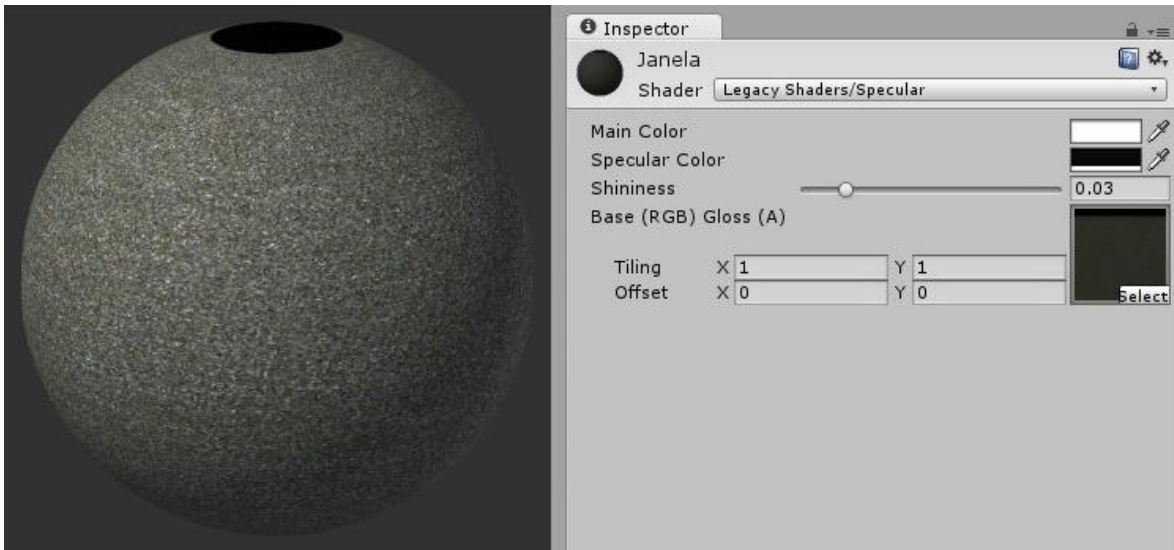


Figura 85: Material com a Textura da Janela

O *software Unity* tem diversas categorias com vários componentes (entre eles o “*Button*” na categoria “*UI*”). Este componente permite criar botões no “*User Interface*” sem ter que recorrer à programação. No entanto como se pretendia criar um menu completamente personalizado recorreu-se à programação. Desta forma foram criados diversos *GameObject* / *3D Object* / *3D Text* no *Unity* para cada símbolo no painel esquerdo da aplicação (Figura 86). De seguida foi aplicado um *Box Collider*¹ a cada elemento do menu por forma a permitir a deteção da colisão do cursor com estes através do *Raycast*².

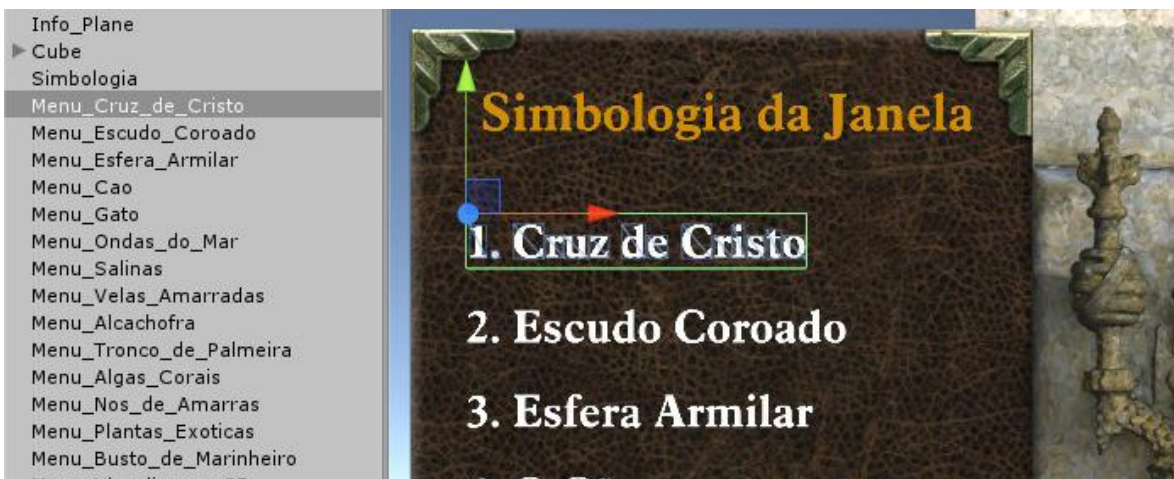


Figura 86: Menu com a Simbologia da Janela

¹ *Unity Box Collider*, <http://docs.unity3d.com/Manual/class-BoxCollider.html>, visitado em Agosto de 2015

² *Unity Raycast*, <http://unity3d.com/pt/learn/tutorials/modules/beginner/physics/raycasting>, visitado em Agosto de 2015

Através de código é possível alterar a textura e a cor de um material. De seguida são apresentadas partes do código *JavaScript* usado na abordagem ao menu.

Foram criadas variáveis para o *Raycast* de forma a detetar colisões.

```
// Variáveis para o Raycast
var ray : Ray;
var hit : RaycastHit;
```

Existem 14 elementos no menu, desta forma foram criadas 14 variáveis do tipo “*boolean*” para definir se qualquer um dos elementos do menu está ativo ou não. Todos os elementos do menu estão inicialmente inativos, todas as variáveis estão a “*false*”.

```
//Variáveis do Menu
var menuActive1 : boolean = false;
var menuActive2 : boolean = false;
var menuActive3 : boolean = false;
var menuActive4 : boolean = false;
var menuActive5 : boolean = false;
var menuActive6 : boolean = false;
var menuActive7 : boolean = false;
var menuActive8 : boolean = false;
var menuActive9 : boolean = false;
var menuActive10 : boolean = false;
var menuActive11 : boolean = false;
var menuActive12 : boolean = false;
var menuActive13 : boolean = false;
var menuActive14 : boolean = false;
```

De seguida a função “*Update*” verifica constantemente se existe alguma colisão entre o cursor e algum dos elementos do menu. Consoante o estado ativo ou inativo é feita a alteração da cor de cada elemento do menu.

```
//Deteção de colisão
if(Physics.Raycast(ray, hit)){
    //Deteta a colisão com os elementos do menu, se está inativo e muda
    de cor
    if (hit.collider.name == "Menu_Cruz_de_Cristo" && menuActive1 ==
false){
GameObject.Find("Menu_Cruz_de_Cristo").GetComponent.<Renderer>().material
.color = Color32(241, 138, 27, 255);
    //Se não houver colisão e estiver inativo muda de cor
    } else if (menuActive1 == false) {
GameObject.Find("Menu_Cruz_de_Cristo").GetComponent.<Renderer>().material
.color = Color32(215, 192, 168, 255);
    //Se não houver colisão e estiver ativo muda de cor
```

```

    } else if (menuActive1 == true) {

GameObject.Find("Menu_Cruz_de_Cristo").GetComponent.<Renderer>().material
.color = Color.white;
    }
}

```

Quando se verifica a colisão do cursor com um elemento do menu e o botão esquerdo do rato é pressionado o estado da variável associada “*menuActive*” é alterado para “*true*”, isto permite mudar a cor do menu (para branco) como observado acima. É também alterada e atribuída a textura do material da janela correspondente ao símbolo selecionado, bem como a textura do painel direito com a informação sobre a respetiva simbologia escolhida. O botão para a visualização 3D do símbolo é ativado também.

```

if(Physics.Raycast(ray, hit) && Input.GetMouseButtonDown(0)){
    if (hit.collider.name == "Menu_Cruz_de_Cristo"){
        menuActive1 = true;
        menuActive2 = false;
        menuActive3 = false;
        menuActive4 = false;
        menuActive5 = false;
        menuActive6 = false;
        menuActive7 = false;
        menuActive8 = false;
        menuActive9 = false;
        menuActive10 = false;
        menuActive11 = false;
        menuActive12 = false;
        menuActive13 = false;
        menuActive14 = false;
        GetComponent.<Renderer>().material.mainTexture =
Resources.Load("Menu_Cruz_de_Cristo");

GameObject.Find("Plane_R").GetComponent.<Renderer>().material.mainTexture
= Resources.Load("Info_Simbolo_Cruz_de_Cristo");

GameObject.Find("Menu_Visualizacao_3D").GetComponent.<Renderer>().enabled
= true;

    }
}

```

Todo o interface da aplicação está no nível 0. A visualização dos objetos 3D isolados é feita no nível 1. Quando se pressiona o botão “Visualização 3D do Símbolo” no painel direito (**Figura 87**) é feita a leitura do nível 1 que substitui o nível 0. Quando se pressiona o botão “Voltar” no nível 1 é feita a leitura do nível 0 que vai substituir o nível 1 (**Figura 88**).

O seguinte código faz a leitura do nível desejado.

```
Application.LoadLevel ("Level1");
```



Figura 87: Interface Principal da Aplicação



Figura 88: Visualização 3D do Símbolo

6.3.6 - Rotação do Elemento 3D Isolado

A rotação do objeto isolado é efetuada da mesma forma que a janela mas sem limitações quando à amplitude do movimento. Também não é executado o retorno à posição inicial quando a tecla esquerda do rato não está pressionada.

De seguida é apresentado o código em *JavaScript* usado para rodar o objeto 3D isolado.

```
// Limita a velocidade de rotação
var limitRotation:float = 2;
var delay:float = 130;
var mouseDown : boolean = false;

// Câmara que funciona como referência e relativamente à qual é feita a
rotação
var referenceCamera:Transform;
```

```

function Update () {

    //Aquisição da posição do cursor
    var rotationX:float = Input.GetAxis("Mouse X") * limitRotation;
    var rotationY:float = Input.GetAxis("Mouse Y") * limitRotation;

    //Deteta se o botão esquerdo do rato está pressionado
    if(Input.GetMouseButtonDown(0)){
        mouseDown = true;
    }

    // Deteta se o botão esquerdo do rato não está pressionado
    if(Input.GetMouseButtonUp(0)){
        mouseDown = false;
    }

    // Roda o objeto da janela em torno do eixo "up" e "right" da câmara
    if(mouseDown == true){
        transform.RotateAroundLocal( referenceCamera.up          , -
Mathf.Deg2Rad * rotationX / delay );
        transform.RotateAroundLocal( referenceCamera.right      ,
Mathf.Deg2Rad * rotationY / delay );
    }
}

```

7 - Conclusão

A fase inicial deste trabalho passou pela abordagem ao levantamento 3D da janela, sendo para isto necessário adquirir informação sobre a mesma. Não foi possível encontrar desenhos técnicos como plantas, alçados ou desenhos com pormenores construtivos da Janela do Capítulo. Relativamente à informação histórica com o enquadramento simbólico existe informação em livros sobre o estilo manuelino do autor Paulo Pereira, bem como um desenho da fachada da janela com a respetiva simbologia da autoria do Arquiteto Jorge Mascarenhas. Esta informação veio solucionar o problema sobre a descrição dos elementos simbólicos da janela.

A escolha da tecnologia mais adequada para o levantamento 3D da janela necessitou de ter em conta: a sua fácil utilização, custo reduzido e bons resultados. Para isto foi necessário fazer uma análise das tecnologias existentes no mercado e escolher a mais adequada. Inicialmente abordou-se a possibilidade de efetuar o levantamento com recurso à câmara *Microsoft Kinect*, sendo esta uma técnica de baixo custo e com equipamento já adquirido, no entanto os resultados não foram satisfatórios para o objetivo pretendido. Foi assim necessário recorrer a outra tecnologia sendo adotada a fotogrametria por ser a mais simples de utilizar através do *software Autodesk 123D Catch*. A abordagem inicial a esta tecnologia não obteve os resultados desejados, o modelo 3D e respetiva textura apresentavam uma grande falta de precisão devido à dificuldade em obter um registo fotográfico minucioso da janela. Esta dificuldade prendeu-se com a falta de equipamento adequado para fazer o registo. Posteriormente contornou-se esta questão com a utilização do modelo 3D da janela facultado pela Faculdade de Arquitetura da Universidade de Lisboa.

O modelo final apresentava uma excelente resolução, no entanto continha inúmeros artefactos provenientes da fotogrametria. Desta forma foi necessário contornar este problema eliminando alguns desses artefactos recorrendo ao *MeshLab* numa fase inicial. Posteriormente também foi criada a textura e exportado o modelo para o *software ZBrush*. Aqui foi necessário otimizar toda a geometria, eliminando os artefactos mais complexos como pedaços de geometria que flutuavam junto ao modelo. A geometria do gradeamento encontrava-se extremamente irregular e foi eliminada. A solução foi modelar o gradeamento em *Autodesk Maya*. Algumas partes do modelo com irregularidades foram melhoradas.

Posteriormente foi isolada a cruz – primeiro elemento do topo da janela – por forma a reconstruir a geometria e apresentar este elemento simbólico na aplicação interativa.

Com o modelo otimizado final foi então necessário criar uma versão *Low Poly* para ser utilizada na aplicação. Esta dificuldade foi ultrapassada com recurso ao *ZBrush* para reduzir o número de polígonos até chegar a uma versão que pudesse ser importada no *software Unity*.

A criação deste modelo eliminou as coordenadas de mapeamento provenientes do *MeshLab*, não permitindo o uso da textura. Para solucionar este problema foi necessário definir uma técnica que permite converter a textura do modelo *High Poly* para a cor dos polígonos da superfície, posteriormente é transferida essa cor para o modelo *Low Poly* com novos *UV's*. A partir daqui foi criada uma nova textura com base na cor transferida.

No desenvolvimento da aplicação em *Unity* foi necessário criar uma técnica para destacar os elementos simbólicos na janela a partir do menu da simbologia. Para isto foram pintadas em *ZBrush* as zonas que se pretendia destacar e criadas diferentes texturas para cada símbolo. Posteriormente através de código foi possível atribuir ao *shader* da janela a textura adequada ao símbolo escolhido. Foi também desenvolvido o código para limitar a rotação da janela e para rodar o objeto isolado.

O objetivo proposto para esta dissertação produziu conhecimento teórico – sendo agora possível saber em que estado se encontra a tecnologia de levantamento 3D – como ao nível empírico, com a utilização de ferramentas destinadas essencialmente à indústria dos videojogos e cinema agora aliadas à conservação e promoção do património histórico.

Esta dissertação mostra que é possível integrar diversas áreas tais como: levantamento e reconstrução 3D do património, a área criativa com o uso de ferramentas destinadas aos artistas e designers, área da programação e utilização de tecnologia destinada à produção de jogos. Esta transversalidade tem como objetivo promover e preservar a história do cunho humano num futuro digital.

7.1.1 - Aprendizagem

No decorrer deste trabalho foi possível adquirir conhecimento histórico e simbólico sobre a Janela do Capítulo (capítulo 2 e 3), conhecimento teórico em geral sobre a área do levantamento 3D (capítulo 4) e respetivas tecnologias (capítulo 5). Foi também adquirido conhecimento prático nas seguintes áreas (capítulo 6):

- Instalação e utilização em ambiente *MAC* da câmara *Microsoft Kinect* com o *software Skanect* para a digitalização 3D de objetos.
- Utilização da aplicação mobile *Autodesk 123D Catch* (para *iPhone*) e respetiva versão para PC em ambiente *Windows*.
- Realização de um levantamento por fotogrametria de forma a obter os melhores resultados no modelo 3D final.
- Abordagem e escolha dos melhores *settings* no *software MeshLab* para a criação do modelo 3D da Janela do Capítulo e respetiva textura.
- Limpeza de artefactos resultantes da fotogrametria no modelo 3D, otimização e transformação do modelo para utilização no *Unity*.
- Criação de modelo *Low Poly*.
- Desenvolvimento de uma metodologia para transferir a textura do modelo 3D *High Poly* para o modelo *Low Poly* em *ZBrush*.
- Modelação do gradeamento em *Maya* (reconstrução 3D).
- Criação de técnica para destacar os elementos simbólicos no modelo 3D da janela e respetiva codificação relacionada com *shaders*, texturas e rotação de objetos 3D.

Seguidamente é apresentado o *workflow* utilizado para a concretização do trabalho final. Este *workflow* é o resultado de toda a pesquisa efetuada e das técnicas abordadas sintetizadas num modelo funcional (**Figura 89**).

Workflow

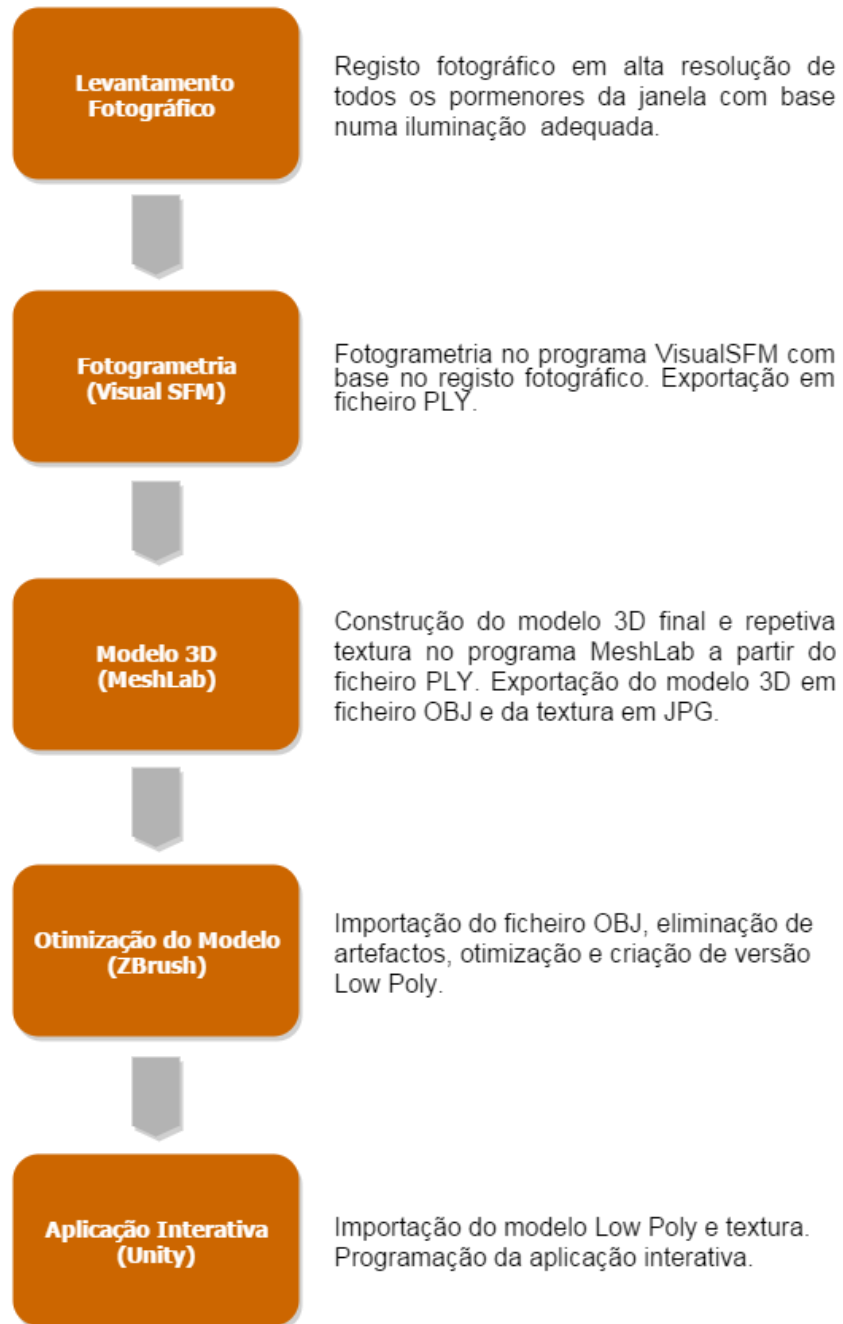


Figura 89: Workflow Utilizado

7.1.2 - Trabalho Futuro

A fotogrametria efetuada à Janela do Capítulo resulta num modelo 3D com bastante resolução, no entanto existem inúmeras áreas onde o resultado não é exatamente fiel ao original. Para isto é necessário abordar este modelo de forma artística através do *software ZBrush* para esculpir, limpar e melhorar essas mesmas superfícies irregulares, sempre com a referência do levantamento fotográfico da janela. Devido à sua elevadíssima riqueza de pormenores esta tarefa torna-se colossal. Para esta dissertação só foi possível trabalhar um dos elementos, no entanto, para trabalho futuro, pretende-se isolar cada um, esculpir e corrigir toda a superfície e desenvolver versões *Low Poly*. Com o modelo otimizado e corrigido será também possível fazer animações, impressão 3D e muitas outras aplicações no âmbito da produção de conteúdos digitais.

8 - Bibliografia

Abdel-Bary Ebrahim, M. (2011). 3D Laser Scanners: History, Applications, and Future.

Bernardini, F., & Rushmeier, H. (2002). The 3D model acquisition pipeline. *Computer Graphics Forum*, 21(2), 149–172. <http://doi.org/10.1111/1467-8659.00574>

Convento de Cristo. (2015). Retrieved August 1, 2015, from <http://www.conventocristo.pt>

Curless, B. (1999). From range scans to 3D models. *ACM SIGGRAPH Computer Graphics*, 33(4), 38–41. <http://doi.org/10.1145/345370.345399>

Denard, H. (2009). Carta de Londres, 1–15.

Digital Culture | Digital Agenda for Europe | European Commission. (2015). Retrieved September 9, 2015, from <https://ec.europa.eu/digital-agenda/en/digital-culture>

Europeia, U. (2000). Carta de Cracóvia. *Carta de Cracóvia - Princípios Para a Conservação E O Restauro Do Património Construído*, 1–6.

Evin, P. (1985). Style Manuélin et Spätgotik: les critiques du symbolisme maritime. *Ciência E Trópico vol.13*.

Guimarães, V. (1927). *Thomar. St^a Iria*. Lisboa.

Inexpensive new depth-sensing camera could outperform the Kinect. (2015). Retrieved August 1, 2015, from <http://www.gizmag.com/motion-contrast-3d-scanning-camera/37203/>

KVL - King's Visualisation Lab - Making Space. (2007). Retrieved August 11, 2015, from http://www.kvl.cch.kcl.ac.uk/making_space.html

Menchero, V. (2013). Principles of Seville.

Pereira, P. et al. (1995). *História da Arte Portuguesa*. (C. de L. / T. e D. V. II, Ed.).

Pereira, P. (1990). *A Obra Silvestre e a Esfera do Rei*.

Rome Reborn. (2015). Retrieved August 1, 2015, from
<http://romereborn.frischerconsulting.com/>

Smithsonian Creates the First-ever 3D Presidential Portrait. (2014). Retrieved August 1, 2015, from <http://dpo.si.edu/blog/smithsonian-creates-first-ever-3d-presidential-portrait>

These New 3D Models Put the Smithsonian's Most Renowned Items in Your Hands. (2013). Retrieved August 1, 2015, from
<http://www.smithsonianmag.com/smithsonian-institution/these-new-3d-models-put-the-smithsonians-most-renowned-items-in-your-hands-180947679>

Unity - Manual: Modeling Characters for Optimal Performance. (2015). Retrieved August 26, 2015, from <http://docs.unity3d.com/Manual/ModelingOptimizedCharacters.html>