

O Observatório Astronómico da Escola Politécnica: Modelos virtuais para a sua preservação

Ana Paula Cláudio^{1,3}, Paula Redweik^{2,4}, Maria Beatriz Carmo^{1,3},
Marta Lourenço^{5,6}, António P. Matos⁶

¹Departamento de Informatica, ²Departamento de Engenharia Geográfica, Geofísica e Energia

³LabMAG, ⁴CeGUL/IDL Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa

⁵ Centro Interuniversitário de História da Ciência e da Tecnologia (pólo da Universidade de Lisboa)

⁶Museu Nacional de História Natural e da Ciência- Universidade de Lisboa

apc@di.fc.ul.pt, pmredweik@fc.ul.pt, bc@di.fc.ul.pt, mclourenco@museus.ul.pt, apmatos@museus.ul.pt

Resumo

O último observatório de ensino de interesse histórico em Portugal, que data do final do século XIX, é um dos edifícios mais carismáticos dos Museus da Universidade de Lisboa. Após um século de uso intensivo, o Observatório Astronómico da Escola Politécnica necessita de obras estruturais antes de ser devolvido integralmente à fruição pública. Recentemente, um grupo de estudantes desta Universidade foi envolvido na construção de modelos 3D virtuais para recriar o edifício do Observatório e alguns objetos das suas coleções. A qualidade dos modelos potencia a sua utilização como instrumento de divulgação de uma peça relevante do património histórico-científico da Universidade de Lisboa. Este artigo descreve as várias abordagens adoptadas e compara-as entre si.

palavras-chave: Património Científico, Modelação e Animação 3D, Fotogrametria multi-raio, *Laser Scanning* Terrestre

Title: Astronomical Observatory of the Lisbon Polytechnic School: Virtual models for its preservation

Abstract

The Astronomical Observatory of the Lisbon Polytechnic School is the last teaching observatory of historical interest in Portugal. Created in the late nineteenth century, it survives intact in its original design. Given its singularity in the context of scientific heritage, the quality and beauty of its architecture, as well as its privileged location in the Botanical Garden, the Observatory has the potential to become the Museum's focal point for the promotion of astronomy and its history. After 100 years of intense use, however, the Observatory is highly degraded and needs structural restoration before it can be fully returned to public fruition. Recently, three professors of the Faculty of Sciences of the University of Lisbon decided to involve a group of students in the construction of virtual 3D models to recreate the Observatory building and collections. This article describes the methods used to produce the models and presents a comparison between them.

keywords: Scientific Heritage, 3D Modeling and Animation Software, Multi-View Photogrammetry, Terrestrial Laser Scanning

1. Introdução

O Observatório Astronómico da Escola Politécnica de Lisboa é o último observatório de ensino de interesse histórico em Portugal. Edificado em 1898, sobrevive intacto na sua conceção original, juntamente com uma coleção de cerca de duas centenas de instrumentos científicos, um pequeno arquivo e uma coleção de livros de astronomia. Dada a sua singularidade no contexto do património científico, a qualidade e a beleza da sua arquitetura, bem como a sua localização privilegiada no Jardim Botânico da Universidade de Lisboa, o Observatório alberga o potencial para se tornar o ponto fulcral do Museu para a promoção da Astronomia e da sua história.

O Observatório Astronómico foi, durante várias décadas, a sede da Engenharia Geográfica da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa (FCUL). Desde 1921, ano de lançamento deste curso no país, até à deslocalização de alunos e docentes para as atuais instalações da Faculdade no Campo Grande no ano 2000, a maioria das disciplinas técnicas era ensinada nas salas de aula do edifício, nas cúpulas de observação e nos jardins circundantes.

Depois de um século de uso intensivo, o Observatório encontra-se extremamente degradado e interdito, necessitando de uma profunda recuperação estrutural antes de poder ser novamente aberto ao público.

Recentemente, três professoras da FCUL orientaram um grupo de estudantes na construção de modelos 3D virtuais para recriar o edifício do Observatório e algumas peças das suas coleções.

Dois métodos foram utilizados para produzir os modelos de acordo com o conhecimento e as perspetivas dos estudantes envolvidos: construção com base em dados reais adquiridos por fotogrametria ou *laser scanning* e construção dos modelos de raiz usando software de modelação e de animação 3D. No primeiro método foram aplicadas três abordagens diferentes: fotogrametria multi-raio interativa e automática, com base em informação fotográfica e imagens de vídeo, e *laser scanning* terrestre (TLS-*Terrestrial Laser Scanning*). A modelação foi executada maioritariamente recorrendo a software comercial e em parte a software livre. Para produzir o modelo do Observatório de raiz, recorreu-se a um software gratuito para a criação de modelos animados em 3D e para vídeo-jogos. Para orientação no processo de construção do modelo, foram usadas algumas projeções ortográficas do Observatório, previamente desenhadas por um arquiteto. Posteriormente, os modelos produzidos foram convertidos para um formato que suporta interação.

A criação de diversos modelos tridimensionais do mesmo objeto arquitetónico constituiu uma oportunidade para comparar as abordagens utilizadas, concluir sobre a viabilidade da aplicação de cada uma e ainda da utilização de *software* livre na recriação virtual. O carácter apelativo dos modelos produzidos potencia a sua utilização em acções de informação para públicos mais amplos, para programas do Museu, bem como para campanhas de captação de recursos para a recuperação do Observatório.

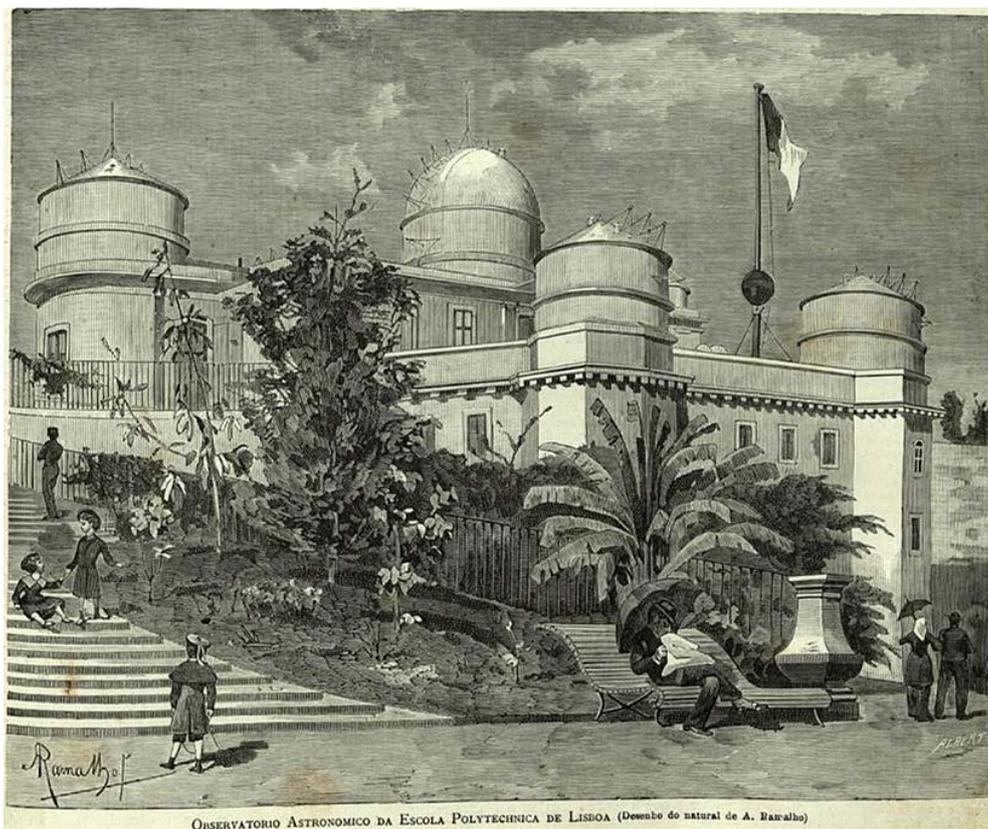
Este documento está organizado da seguinte forma: a secção 2 resume a história do Observatório; a secção 3 descreve as abordagens utilizadas e apresenta os modelos obtidos; uma breve comparação das abordagens é apresentada na secção 4 e, finalmente, a secção 5 reúne as conclusões.

2. História do Observatório

Os observatórios astronómicos para o ensino da Astronomia e da Geodesia eram comuns em instituições de ensino superior do século XIX e início do século XX em toda a Europa (Baiada et al., 1995; Lourenço, 2005). Normalmente construídos em jardins ou pequenas elevações, muitos observatórios universitários localizavam-se em centros urbanos. O seu projeto estrutural era geralmente mais simples do que o de observatórios nacionais ou orientados para a investigação. Exemplos importantes que ainda existem hoje são os observatórios astronómicos das universidades de Utrecht, Strassbourg, Toulouse e Tartu.

No início do século XX, existiam três observatórios astronómicos de ensino em Portugal: um na Universidade de Lisboa - o Observatório Astronómico da Escola Politécnica - e outros dois nas Universidades do Porto e de Coimbra. Destes, apenas o de Lisboa sobrevive no seu projeto arquitetónico de 1898. Hoje, o Observatório faz parte do Museu Nacional de História Natural e da Ciência da Universidade de Lisboa.

O complexo do Observatório Astronómico é composto por três edifícios (SIPA): i) o edifício principal de observação, com três cúpulas e uma sala da meridiana; ii) um edifício de três andares, onde, para além de duas cúpulas ainda existentes, se localizavam várias salas de aula, a biblioteca e os gabinetes dos professores iii) um pequeno edifício de madeira, supostamente utilizado para calibração de instrumentos (Silva, 1998; SIPA). Os dois primeiros edifícios encontram-se ligados por um túnel subterrâneo. Foi construído no Jardim Botânico da Escola Politécnica em 1898, de acordo com os planos de Victor Augusto Gomes da Encarnação e José Cecílio da Costa (Andrea, 1937; Carolino, 2011; Rivotti & Sepúlveda, 1987), tendo substituído o edifício original datado de 1875 (fig.1) que tinha sofrido danos quando da construção do túnel ferroviário do Rossio que passa por baixo do Jardim, iniciada dois anos apenas após a sua inauguração.



**Figura 1 – Gravura mostrando o edifício do Observatório em 1882
(Revista Occidente, Abril 1882).**

Em 1911, quando a Universidade de Lisboa foi criada, as instalações da Escola Politécnica, bem como os equipamentos, alunos e professores, foram integrados na Faculdade de Ciências desta universidade. O Observatório Astronómico permaneceu em uso e continuou a ser adquirido equipamento durante os 80 anos seguintes. O ensino ali ministrado cobria Astronomia, Matemática, Geodesia, Topografia, entre outras matérias características da área da Engenharia Geográfica. Nele foram formados muitos dos engenheiros geógrafos que vieram a integrar as missões geográficas nas, então, colónias ultramarinas, responsáveis pela demarcação de fronteiras (que ainda perduram) e pela elaboração da geodesia e cartografia desses territórios.

As atividades de ensino cessaram nos finais dos anos noventa, quando o Observatório passou a fazer parte do Museu. Juntamente com uma coleção de cerca de duas centenas de instrumentos do século XIX e XX e um pequeno arquivo e biblioteca, o Observatório aguarda silenciosamente uma requalificação há muito merecida. Uma vez restaurado, tornar-se-á decerto o ponto focal do Museu para a promoção da Astronomia junto do público em geral. O caráter íntegro do seu património - edifício, instrumentos e arquivos - confere-lhe também um papel determinante como fonte de investigação da herança científica em Portugal e para o ensino pós-graduado sobre a História da Ciência.

3. Modelos Virtuais 3D

Um número muito elevado de sítios históricos e acervos de museus é atualmente apresentado em páginas web, contendo fotografias, textos e ligações para outras páginas. Fotografias panorâmicas, como as baseadas em QuickTime VR (Chen, 1995) são usadas com frequência, oferecendo uma visão de 360° do espaço em torno de um local fixo, dando ao observador uma sensação forte de imersão. Esta sensação é reforçada por fotografias que suportam a possibilidade de visualização de 180° nas direções para cima e para baixo. Para visitar o espaço através destas fotografias, o utilizador seleciona pontos de observação pré-definidos. Este tipo de visualização pode encontrar-se, por exemplo, nas páginas web do Museu do Louvre¹ ou da *National Gallery of Art* de Washington².

Contudo, os modelos virtuais tridimensionais são o melhor veículo para visualizar edifícios ou artefatos que se encontrem severamente danificados, ou mesmo destruídos, devido a causas naturais, como resultado de guerras, ou quando não estão acessíveis para fruição pública, devido a questões de conservação, restrições de espaço ou indisponibilidade temporária (Carmo & Cláudio, 2013). Alguns desses modelos virtuais suportam a interatividade em tempo real, permitindo a navegação livre em torno e no interior do próprio modelo. Esta possibilidade não está disponível nas fotografias panorâmicas imersivas ou com pontos de observação pré-definidos. Note-se no entanto, que para poder manter a interatividade em tempo real, raramente se consegue exibir modelos com uma qualidade foto-realista.

Os parágrafos seguintes referem alguns exemplos que ilustram várias técnicas que podem ser utilizadas para construir modelos tridimensionais.

A modelação baseada em imagem e em medição de distâncias origina modelos de ambientes ou de objectos tal como estes se encontram na realidade. Apesar de exigir um equipamento mais dispendioso, na modelação baseada em medições a laser as coordenadas das superfícies dos objetos são fornecidas diretamente a partir de sensores ativos, enquanto na modelação baseada em imagem há que efetuar um processamento adicional para obter as coordenadas 3D (Remondino & El-Hakim, 2006). Muitas vezes, nenhuma destas duas técnicas pode satisfazer plenamente por si os requisitos de modelação para objetos de grandes dimensões. O levantamento a laser pode fornecer muito detalhe, mas para grandes edifícios produz uma quantidade enorme e frequentemente ingerível de pontos 3D, mesmo para superfícies planas. Por outro lado, a modelação com base em imagem (fotogrametria) é menos eficiente em superfícies irregulares ou esculpidas. Geralmente, são combinadas várias técnicas para produzir reconstruções 3D com grande detalhe. São vários os exemplos de utilização destas técnicas para a criação de modelos tridimensionais virtuais de património arquitetónico. Por exemplo, o caso da reconstrução virtual da Abadia de Pomposa, perto de Ferrara em Itália, em que foi utilizada fotogrametria para capturar as formas básicas e, em seguida, os elementos detalhados, obtidos por varrimento laser, foram adicionados ao modelo criado anteriormente (El-Hakim et al., 2004). Visintini et al. descrevem o uso de um *Laser Scanner* fotogramétrico terrestre (TLS) para obter um modelo 3D foto-realista da Igreja de Sant'Antonio Abate, em San Daniele del Friuli, nordeste da Itália, tanto no

¹ <http://www.louvre.fr/>

² <http://www.nga.gov/>

interior da igreja como no exterior para a fachada principal em estilo gótico (Visintini et al., 2009). Callet et al. referem igualmente a aquisição de dados com tecnologia de *laser scanning* para a construção do modelo virtual da catedral de Notre-Dame de Paris, França (Callet et al., 2010). Dados referentes a áreas mais detalhadas como, por exemplo, os três portais e a Galeria dos Reis, foram adquiridos com duas resoluções espaciais, ambas mais precisas do que a resolução usada no resto do monumento.

Como mencionado anteriormente, as técnicas baseadas em medições de distância podem ser usadas para realizar a aquisição de dados em superfícies muito detalhadas, o que os torna adequados para construir modelos 3D de pequenos objetos de arte tais como jóias, ornamentos, armas ou estátuas decoradas. Este é o caso do trabalho apresentado por Przybilla e Peipe que descreve as técnicas baseadas em laser usadas para modelar vários objetos, como cruzes, espadas, coroas ou estátuas que pertencem ao tesouro da catedral de Essen, na Alemanha (Przybilla & Peipe, 2007).

Outro método para a criação de modelos 3D é o recurso a ferramentas de modelação, como o software de CAD. Neste caso, a construção dos modelos baseia-se em desenhos, em modelos físicos pré-existentes e/ou em medições realizadas *in situ*. Efetivamente, quando o objeto já não existe ou está muito degradado o recurso a estas aplicações é a única solução para obter um modelo 3D que recrie o original. Pinturas, fotografias e documentos de texto são fontes de informação muito valiosas para se poder produzir um modelo fiel ao original. Frequentemente, o modelo resultante tem poucos detalhes, o que impede uma aparência realista, mas que pode ser melhorada aplicando o mapeamento de texturas. Alguns exemplos de modelos construídos com ferramentas de modelação 3D são: o edifício do Instituto Açoreano de Cultura (Semião & Carmo, 2008), construído com o software AutoCAD³, o complexo monástico de Saint Andrew, em Norwich, Reino Unido, modelado com o 3DS Max⁴, e a Mesquita de Córdoba, em Espanha (Kider et al., 2009), a Panagia Angeloktisti, uma igreja bizantina localizada em Chipre (Happa et al., 2009), e o templo egípcio de Kalabsha (Sundstedt et al, 2004), todos modelados com o software Maya⁵.

Quanto ao Observatório Astronómico, o edifício encontra-se atualmente inacessível, completamente coberto por material de proteção. No início deste projeto foi ainda possível recolher dados *in loco*, pouco tempo antes de os andaimes terem sido montados em torno do edifício.

3.1 Modelação por Fotogrametria Terrestre e por *Laser Scanner* Terrestre

Foram escolhidas duas abordagens para a modelação realista do edifício a partir do próprio objeto: Fotogrametria Terrestre e *Laser Scanning* Terrestre. Para enriquecer o interior do modelo do edifício com alguns objetos do repositório, foi utilizado um método SFM (estrutura a partir do movimento), que pode ser incluído na técnica de fotogrametria terrestre, mas será tratado separadamente.

³ <http://www.autodesk.com/products/autodesk-autocad/overview>

⁴ <http://www.autodesk.com/products/autodesk-3ds-max/overview>

⁵ <http://www.autodesk.com/products/autodesk-maya/>

Modelação por Fotogrametria Terrestre (multi-raio interativa)

A arquitetura do edifício consiste num piso térreo com um conjunto de fachadas planas e curvas e um piso superior que contem três cúpulas de observação. As portas agregam alguns detalhes arquitetónicos relevantes para a verosimilhança do modelo.

As fachadas adjacentes à entrada principal estavam totalmente acessíveis na altura do levantamento, mas o acesso aos lados e parte traseira foi dificultado por vegetação densa e alta. O estado de degradação das escadas interiores não permitiu chegar ao terraço no primeiro andar, plataforma privilegiada para a cobertura fotográfica das cúpulas, de modo que todas as fotos tiveram que ser obtidas a partir do solo envolvente ao edifício.

Foi obtido um conjunto de fotos convergentes em redor de todo o edifício a partir de alturas (não muito) diferentes, usando um escadote. Uma câmara EOS 600D calibrada com uma distância focal de 18 milímetros (focagem manual mantida numa posição fixa) foi utilizada na cobertura fotográfica. A calibração da câmara foi previamente realizada com o *software* PhotoModeler Scanner⁶ da EOS Systems, o qual foi igualmente usado na fase de modelação.

Como é habitual em fotogrametria multi-raio interativa, a modelação consistiu em determinar a orientação relativa de todas as fotos necessárias, medindo um conjunto de pontos comuns em cada triplete de fotos. Tendo em vista o objetivo do modelo final e porque o conjunto de fotos era contínuo, não houve necessidade nesta fase de usar pontos de controlo (pontos com coordenadas terreno conhecidas). O modelo final, caso haja necessidade, pode vir a ser mais tarde orientado absolutamente. Posteriormente, foram definidos pontos 3D, linhas retas e curvas com o objetivo específico de definir as superfícies das fachadas exteriores do modelo. Alguns detalhes com pequena profundidade, que podem ficar bem definidos pela sua imagem nas fotografias utilizadas como textura, tal como vidros de janela, não foram medidos individualmente (fig. 2).

A cornija do piso térreo, com um desenvolvimento contínuo ao longo do edifício, teve de ser repartida em secções retas e curvas. As três cúpulas de observação puderam ser modeladas como sólidos de revolução assim como os dois candeeiros de rua em frente à entrada principal. Portas e escadas foram modeladas em detalhe, uma vez que apresentam profundidade e caracterizam as fachadas a que pertencem.

⁶ <http://www.photomodeler.com/>



Figura 2 – Pormenores do modelo 3D fotogramétrico: fachada principal, candeeiro, porta com degraus e cúpulas.

Como as fotos originais capturam o edifício tal como ele é no momento da fotografia, mostrando as manchas nas paredes e a vegetação no lado traseiro, decidiu-se reparar virtualmente as paredes, removendo a maior parte da vegetação e das manchas de humidade, substituindo-as por textura pura. Uma vez que é mais fácil encontrar pontos homólogos necessários para a orientação em fotografias de paredes manchadas do que em limpas, esta operação de limpeza virtual foi realizada apenas após a conclusão do modelo geométrico e afetou apenas as fotos que viriam a ser utilizadas para fins de atribuição de textura às fachadas (fig. 3).



Figura 3 – Limpeza virtual das texturas.

As texturas foram aplicadas às superfícies por retificação das fotografias mais adequadas do conjunto, aquelas cujo ângulo entre o eixo fotográfico e a superfície se aproximava da perpendicularidade. A figura 4 ilustra o resultado final.



Figura 4 – Vista da fachada principal do modelo 3D fotogramétrico.

O modelo 3D fotogramétrico do observatório foi então importado para um programa de animação, no qual se criou um cenário e uma simulação de uma curta visita virtual ao exterior do edifício (fig. 5).



Figura 5 – Modelo 3D integrado em cenário virtual.

Modelação a partir de *Laser Scanner* Terrestre

O levantamento completo do edifício do observatório e de uma sala interior, que estava acessível, foi realizado usando um *laser scanner* fotogramétrico Leica C10⁷.

Para cobrir o exterior do edifício foram necessários quatro varrimentos; para a sala da meridiana, a mais emblemática do Observatório, cujas paredes são cobertas de painéis de madeira exótica que resistiram às intempéries, foi ainda realizado um varrimento. Foram sendo posicionados sucessivamente quatro alvos ao redor do objeto, para que cada par de varrimentos capturasse dois deles, a fim de permitir uma concatenação posterior das nuvens de pontos geradas. O varrimento interior foi ligado aos exteriores, captando, através de uma janela aberta na sala, dois alvos fixos no exterior.

Uma vez que havia uma câmara devidamente calibrada ligada ao *scanner*, foi também possível fazer um levantamento fotográfico em cada estação. A informação fotográfica foi utilizada no pós-processamento, a fim de atribuir a cor real a cada ponto da nuvem. No entanto, na texturização de superfícies recorreu-se principalmente às fotografias do levantamento fotogramétrico realizado anteriormente, uma vez que estas apresentavam melhores perspetivas das fachadas do que as imagens obtidas a partir das estações do *laser scanner*. Embora a nuvem de pontos final seja muito densa, consistindo numa fonte rica de informações geométricas sobre o edifício, não se pode considerar que seja um modelo 3D completo. Por um lado, as paredes são transparentes devido à falta de superfícies definidas e, por outro lado, apresenta lacunas causadas por oclusões devidas ao facto das estações do *scanner* estarem situadas no solo sobre um tripé (fig. 6 e fig. 7).

⁷ <http://www.leica-geosystems.com/de/79411.htm>

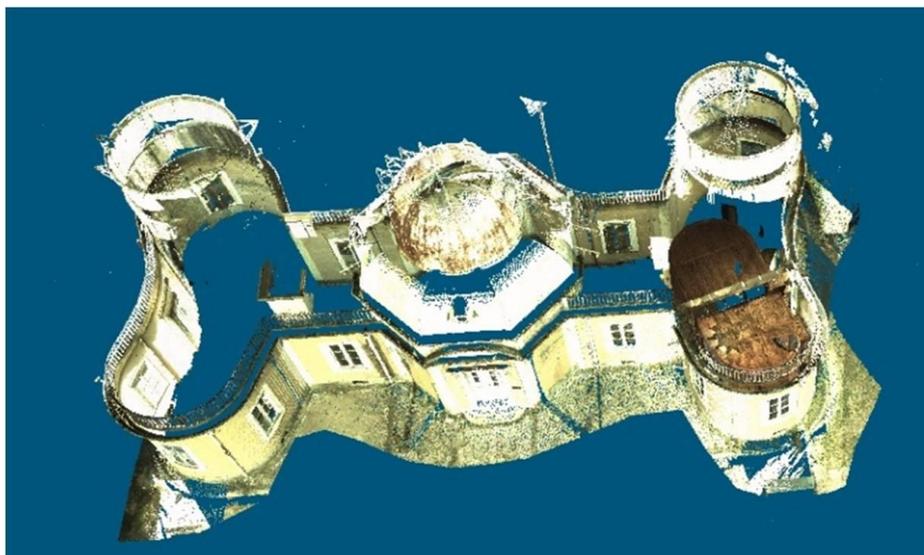


Figura 6 – Nuvem de pontos completa vista de cima, mostrando as lacunas.



Figura 7 – Nuvem de pontos completa vista a partir do solo.

Para a tarefa de modelação a partir da nuvem usou-se o Trimble RealWorks⁸. Em vez de definir os pontos e linhas, como limites para as superfícies limítrofes, cada objeto foi modelado a partir do subconjunto de pontos da nuvem que o definiam. Planos e superfícies curvas foram ajustadas matematicamente aos conjuntos de pontos nas paredes. Cilindros finos foram ajustados aos pontos ao longo da vedação da cornija no terraço superior. Outros sólidos de revolução foram ajustados aos pontos nas cúpulas eliminando as lacunas causadas por oclusões. Como resultado, obteve-se um modelo 3D rico em detalhe e com geometria fiável (fig. 8).

Com o intuito de obter uma aparência mais realista do modelo, foram atribuídos materiais gráficos aos elementos geométricos. A tentativa de os substituir por texturas fotográficas não resultou como se desejava, visto o software utilizado não permitir a

⁸ <http://www.trimble.com/>

atribuição de características gráficas às texturas, como o brilho variável e a sombra, o que tornou o modelo baço e não realista (fig. 9).



Figura 8 – Modelo 3D baseado em nuvem de pontos laser.



Figura 9 – Modelo 3D a partir de laser com textura fotográfica.

Modelação por fotogrametria multi-raio automática

A sala mais relevante do conjunto é a já mencionada sala da meridiana, com paredes, teto e chão de madeira de mogno da Guiné (*Revista Occidente*, Abril 1882), e que apresenta uma abertura estreita atravessando o teto de um lado ao outro, tapada com painéis metálicos. Essa abertura desenvolve-se ao longo do meridiano local e era utilizada para observações astronómicas com o intuito de determinar a longitude ou o tempo local, medindo o trânsito de estrelas com um instrumento chamado círculo meridiano, montado no centro da sala sobre dois munhões. A nuvem de pontos obtida pelo *laser scanner* foi usada para modelar as paredes, teto, chão e pilares dos munhões (fig. 10). O círculo meridiano, no entanto, não se encontrava já no seu lugar original

visto ter sido removido para um depósito do Museu, assim como os restantes bens móveis do observatório.

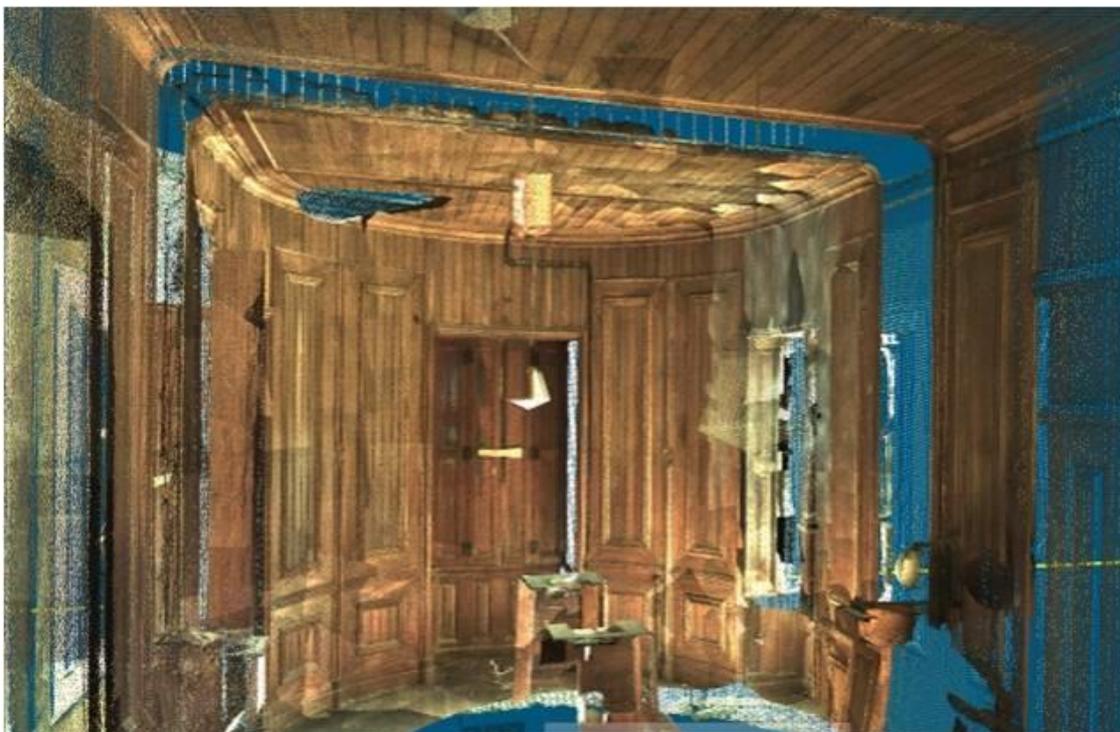


Figura 10 – Nuvem de pontos laser da sala da meridiana mostrando a abertura ao longo do meridiano.

Como era importante incluir alguns objetos na reconstrução virtual do interior do edifício, foi realizada uma visita ao depósito e os instrumentos mais característicos foram capturados em vídeo. As imagens de vídeo foram então usadas para produzir nuvens de pontos com o software de código aberto VisualSFM⁹ (fig. 11). A modelação dos instrumentos a partir das nuvens foi feita novamente em Trimble RealWorks. Por fim, o círculo meridiano pôde retomar o seu lugar original, embora que virtualmente, no centro da sala da meridiana (fig.12).

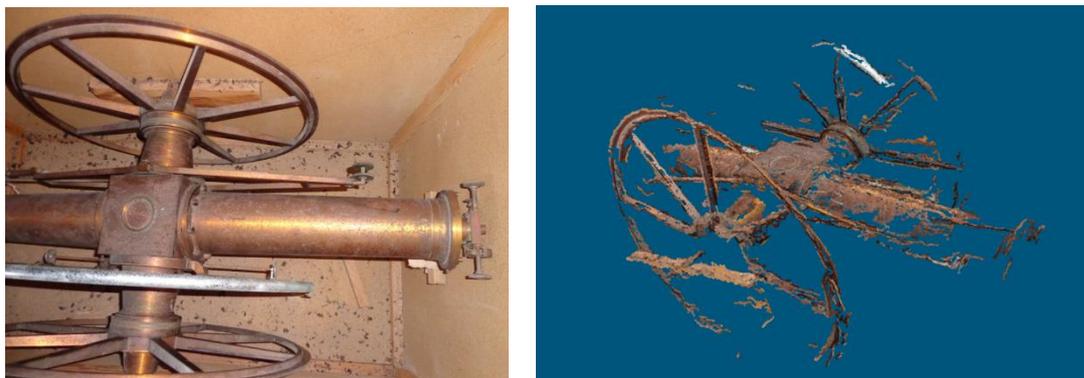


Figura 11 – (esq.) Círculo Meridiano Repsold. (dir.) Nuvem de pontos 3D obtida por VisualSFM.

⁹ <http://homes.cs.washington.edu/~ccwu/vsfm/>



Figura 12 – O círculo meridiano virtual no centro da sala da meridiana.

3.2 Modelação por ferramentas 3D

Para produzir o modelo do Observatório de raiz foi usada a aplicação Blender¹⁰, uma ferramenta de modelação e de animação 3D de domínio público, e depois X3D¹¹, um formato padrão aberto para descrever cenas 3D interativas que podem ser visualizadas em *web-browsers*.

O Blender é uma ferramenta de software livre e de código aberto que suporta, entre outras funcionalidades, a criação de modelos 3D, a inserção de luzes, a aplicação de texturas e a produção de animações usando uma câmara virtual que se move dentro da cena. Como ponto de partida, acedeu-se a um conjunto de plantas e alçados que foram inseridos como imagens de fundo na janela de modelação do Blender e usados apenas para orientação na construção do modelo do Observatório. No momento em que foram construídos estes modelos não se dispunha de informações precisas sobre a decoração do interior do edifício. Por este motivo, foram escolhidas livremente as cores e texturas para cobrir o chão, as escadas e outras superfícies no modelo. Estas cores e texturas podem ser facilmente substituídas.

Depois de introduzir fontes de luz e texturas, foi criada uma pequena animação que leva a câmara a explorar o exterior e o interior do edifício virtual.

Visto só se dispor de plantas e alçados, o maior desafio consistiu na modelação das cúpulas e das escadas interiores cuja tridimensionalidade não era refletida no material de base.

¹⁰ <http://www.blender.org/>

¹¹ <http://www.web3d.org/x3d/learn/>

Aprender a usar o Blender pode ser um processo lento e de alguma forma pesado no início, mas que se torna muito mais fácil e mais rápido depois de experimentar as suas principais funcionalidades, seguindo passo-a-passo um conjunto de tutoriais disponíveis na web. Na realidade, o Blender é uma ferramenta muito popular, com um grande grupo de utilizadores, alguns deles bastante generosos e dispostos a partilhar os seus conhecimentos como, por exemplo, *Blender 3D Design Course*¹² e *Blender Guru Tutorials*¹³.

A figura 13 ilustra o exterior de um modelo Blender do Observatório, enquanto a figura 14 mostra instantâneos de uma animação em que a porta da frente se abre e um detalhe no interior do edifício: as escadas que levam a uma cúpula e uma janela com vista para o exterior.



Figura 13 – Perspetiva do modelo Blender: fachada principal com dois candeeiros de rua.



Figura 14 – Detalhes do modelo Blender.

O modelo Blender foi posteriormente exportado para um ficheiro X3D, um processo trivial já que a ferramenta dispõe de uma opção para realizar este tipo de exportação. Este ficheiro pode ser editado com um editor de texto vulgar ou com um editor

¹² <http://gryllus.net/Blender/3D.html>

¹³ <http://www.blenderguru.com/>

específico de X3D que pode incorporar também um visualizador; vários exemplos podem ser encontrados numa página do consórcio Web3D¹⁴.

Foram então inseridos recursos específicos disponíveis em X3D: adicionar luzes, texturas, recursos interativos, como botões e eventos desencadeados por proximidade, animações e definição de pontos de vista (*viewpoints*).

As cenas X3D permitem a interação do utilizador em tempo real através de um visualizador específico ou num navegador Web com um plugin X3D (por omissão ou instalado pelo utilizador). Uma extensa lista de aplicações que suportam X3D pode ser encontrada na página do consórcio Web3D. Uma das possibilidades é o Octaga Player¹⁵, usado para produzir as imagens das figuras 15 e 16, que ilustram vários instantâneos obtidos numa navegação interativa do modelo X3D. A fachada do edifício apresenta dois botões coloridos para interativamente ligar/desligar as luzes e abrir a porta.



Figura 15 – Modelo X3D. Fachada principal mostrando botões interativos.



Figura 16 – Instantâneos de uma visita interativa do modelo X3D.

¹⁴ <http://www.web3d.org/products/C21/>

¹⁵ <http://octagavs.com/software/octaga-player>

Os modelos do Observatório Astronómico descritos foram produzidos por alunos da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa. Imagens e videos dos modelos podem ser visualizados na página web do projeto¹⁶.

4. Discussão

Nesta secção apresenta-se uma comparação dos processos adotados para a produção dos modelos. Os critérios tidos em conta, sintetizados na tabela 1, foram: etapas de processamento (Input → Output), software utilizado, vantagens e desvantagens relativas.

Tabela 1 – Comparação dos processos de modelação adotados.

Processos	Input → Output	Software utilizado	Vantagens	Desvantagens
Fotogrametria interativa	Fotografias → Modelo 3D	PhotoModeler	Os modelos finais obtidos são geometricamente rigorosos e precisos. Existe algum software livre.	Necessária deslocação ao local. Não aplicável se o objeto não estiver acessível. Custo elevado do software.
Fotogrametria automática	Fotografias e/ou vídeo → (1) Nuvem de pontos → (2) Modelo 3D	(1) VisualSFM (2) Trimble RealWorks		
<i>Laser Scanning</i> Terrestre	Nuvem de pontos → Modelo 3D	Trimble RealWorks		Necessária deslocação ao local. Não aplicável se o objeto não estiver acessível. Custo elevado do equipamento. Elevada dimensão dos ficheiros resultantes
Modelação de raiz	{ } → Modelo 3D	Blender X3D	Pode ser sempre aplicada (quer o objeto exista, quer não exista). Existem ferramentas gratuitas de qualidade	Os modelos finais obtidos podem ser pouco rigorosos em termos geométricos.

De um modo geral, enquanto os modelos finais obtidos por fotogrametria ou TLS são geometricamente rigorosos e precisos, os processos utilizados para obter os modelos de raiz não garantem estas qualidades. Os primeiros métodos implicam uma etapa inicial de captura dos dados no local o que pode levantar problemas logísticos de deslocação e de eventual obstrução do objeto por existência de vegetação densa, outros impedimentos físicos ou mesmo legais de acesso.

¹⁶ <http://Virtual Teaching Astronomical Observ University of Lisbon.fc.ul.pt>

No caso do TLS, tanto os dados capturados como o modelo gerado assumem frequentemente dimensões ingeríveis. Esta técnica, apesar de muito fiável, requer equipamento e software muito dispendiosos. Têm surgido recentemente programas livres, como por exemplo o MeshLab¹⁷, que igualmente podem ser usados na modelação a partir de nuvem de pontos, mas que exigem um longo período de familiarização. A fotogrametria recorre a câmaras fotográficas comuns, mas o software de processamento é igualmente dispendioso. Tem surgido recentemente, no entanto, software livre que permite obter nuvens de pontos 3D automaticamente a partir de imagens, como por exemplo o VisualSFM que foi utilizado neste trabalho. A etapa posterior de modelação requer o mesmo tipo de software que o TLS.

Quanto à modelação 3D de raíz, uma das suas principais características e mais-valias é a possibilidade de ser aplicada ainda que o objeto modelado não exista de facto. De um modo geral, as ferramentas de software para este fim, permitem ao utilizador usar informação gráfica de referência (por exemplo: plantas, alçados, fotografias, esboços) como imagens de fundo na interface de modelação. Não é necessário nenhum equipamento para aquisição de dados e existem disponíveis software de modelação gratuito e de qualidade, como por exemplo o Blender. De modo a tornar estes modelos navegáveis interativamente na web, um aspeto importante na sua divulgação, podem facilmente ser convertidos para o formato aberto X3D, o que não acontece nos modelos gerados pelos métodos anteriormente descritos.

5. Conclusão

Neste artigo descreve-se a produção de diversos modelos tridimensionais do Observatório Astronómico da Escola Politécnica de Lisboa. O facto de um mesmo objeto arquitetónico ter sido alvo de diferentes abordagens de modelação permitiu compará-las entre si, concluir sobre a viabilidade da aplicação de cada uma e ainda da utilização de software livre na recriação virtual.

A iniciativa de envolver estudantes neste projeto teve vários aspetos positivos, dos quais se destaca o processo de disseminação. A maioria dos alunos envolvidos neste desafio de recuperação virtual do edifício desconhecia a existência do Observatório Astronómico na sua própria Universidade. Esta disseminação interna, levou os estudantes a produzirem conteúdos que podem ser usados para promover a sensibilização do público em geral para a relevância deste património da História da Ciência em Portugal. Deste modo, tornaram-se agentes ativos no processo de disseminação externa, mostrando os modelos 3D produzidos nas suas redes sociais, digitais e não-digitais, alcançando um público mais abrangente, o que pode ser determinante, por exemplo, na angariação de fundos para a necessária restauração do Observatório.

¹⁷ <http://meshlab.sourceforge.net/>

Agradecimentos

Agradece-se aos alunos que realizaram os modelos apresentados neste artigo, no âmbito das suas licenciaturas e mestrados na FCUL: Ana Margarida Campos, Jorge Santos, José Pedrosa, Pedro Lopes, Robin Burgess. Agradece-se ainda ao Professor José Juan Blasco e a Fernando Berenguer da Universidade de Extremadura, Espanha, pelo apoio no levantamento a *Laser Scanner*. Agradece-se à FCT o apoio concedido através da bolsa atribuída a António P. Matos (SFRH /BI /51508 /2011).

REFERÊNCIAS

- E. Andrea (1937), “A Escola Politécnica de Lisboa: A 4ª Cadeira e os seus professores”, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.
- E. Baiada, F. Bonoli, A. Braccisi (1995), “Museo della Specola”, Bologna University Press; 1995.
- M. B. Carmo, A. P. Cláudio (2013), “3D Virtual Exhibitions”, *DESIDOC Journal of Library & Information Technology*, 33.3.
- M. C. Lourenço (2005), “Between two worlds: The distinct nature and contemporary significance of university museums and collections in Europe”, PhD dissertation, Conservatoire National des Arts et Métiers (Paris)
(<http://webpages.fc.ul.pt/~mclourenco/>).
- V. R. Silva (1998), “L’Observatoire Astronomique de l’École Polytechnique”, In M. A. A. M. Ferreira & J. F. Rodrigues (eds). *Museums of Science and Technology*, pp. 125-30, MCUL/Fundação Oriente, Lisboa.
- L. M. Carolino (2011), “O Observatório Astronómico da Escola Politécnica de Lisboa: 1875-1911”, In: M. C. Lourenço & M. J. Neto (eds), *Património da Universidade de Lisboa: Ciência & Arte*, pp. 107-120. Universidade de Lisboa/Tinta da China.
- V. Rivotti, A. Sepúlveda (1987), “Astronomia e Engenharia Geográfica na Escola Politécnica e na Faculdade de Ciências”. In F. B. Gil & M. G. S. Canelhas (eds), *Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa. Passado, Presente, Perspectivas Futuras*, pp. 179-185, Lisboa.
- S. E. Chen (1995), “QuickTime VR – An Image-Based Approach to Virtual Environment Navigation”, *Proceedings of the 22nd Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques*, pp. 29-38, Los Angeles.
- F. Remondino, S. El-Hakim (2006), “Image-Based 3d Modelling: A Review”, *The Photogrammetric Record*, pp. 269–291, 21(115).
- S. El-Hakim, J.-A. Beraldin, M. Picard, G. Godin (2004), “Detailed 3D Reconstruction of Large-Scale Heritage Sites with Integrated Techniques”, *IEEE Computer Graphics and Applications*, pp. 21-29, vol. 24(3).

D. Visintini, E. Siotto, E. Menean (2009), "3D Modeling of the St. Anthony Abbot Church in S. Daniele del Friuli (I): From Laser Scanning and Photogrammetry to VrmI/X3D Model", Proceedings of the 3rd ISPRS International Workshop, 3D-ARCH 2009: "3D Virtual Reconstruction and Visualization of Complex Architectures". Volume XXXVIII-5/W1.

P. Callet, S. Dumazet, C. Leclercq, C. Politi (2010), "Natural Lighting, GILTS and Polychromy of Notre-Dame de Paris Cathedral", Proceedings of the 11th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage, pp. 63-70, VAST 2010, Salt Lake City.

H.-J. Przybilla, J. Peipe (2007), "3D Modeling of Heritage Objects by Fringe Projection and Laser Scanning Systems", Proceedings of the XXI International CIPA Symposium, Atenas.

P. Semião and M. B. Carmo (2008), "Virtual Art Gallery Tool", Proceedings GRAPP 2008, pp. 471-476, Funchal.

J. T. Kider, R. L. Fletcher, R. Yu, A. Chalmers, N. Badler (2009), "Recreating Early Islamic Glass Lamp Lighting", Proceedings of the 10th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage, VAST 2009, pp. 33-40. Atlantic City.

J. Happa, A. Artusi, T. Bashford-Rogers, K. Debattista, V., Hulusic, A. Chalmers (2009), "The Virtual Reconstruction and Daylight Illumination of the Panagia Angeloktisti", Proceedings of the 10th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage, VAST 2009, pp. 49-56, Atlantic City.

Revista Occidente, Abril 1882, Lisboa, Hemeroteca Digital
<http://hemerotecadigital.cm-lisboa.pt/OBRAS/Ocidente/Ocidente.htm>

SIPA- Sistema de Informação para o Património Arquitectónico
http://www.monumentos.pt/Site/APP_PagesUser/SIPA.aspx?id=4812

V. Sundstedt, A. Chalmers, P. Martinez (2004), "High Fidelity Reconstruction of the Ancient Egyptian Temple of Kalabsha", Proceedings of the 3rd International Conference on Computer Graphics, Virtual Reality, Visualisation and Interaction in Africa, AFRIGRAPH 2004, pp. 43-47, Cape Town.



Ana Paula Cláudio é licenciada em Matemática Aplicada pela Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa (FCUL), Portugal, e doutorada em Informática pela mesma Universidade. É professora no Departamento de Informática da FCUL e investigadora do LabMAg (Laboratório de Modelação de Agentes). Os seus interesses de pesquisa incluem computação gráfica, visualização, realidade virtual e aumentada, herança cultural digital, modelação e animação 3D.



Paula Maria Redweik é licenciada em Engenharia Geográfica pela Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa (FCUL), Portugal. É doutorada em Engenharia Geográfica pela Universidade de Hannover, Alemanha, é professora do Departamento de Engenharia Geográfica, Geofísica e Energia da FCUL e investigadora no IDL (Instituto Dom Luiz). Os seus interesses de investigação incluem fotogrametria aérea e terrestre para cartografia e aplicações não cartográficas e modelação 3D urbana.



Maria Beatriz Carmo é licenciada em Matemática Aplicada pela Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa (FCUL) e é doutorada em Informática pela mesma Universidade. É professora no Departamento de Informática da FCUL e investigadora no LabMAg (Laboratório de Modelação de Agentes). Tem como principais interesses de investigação as áreas de visualização, realidade aumentada, ambientes virtuais e computação gráfica.



Marta C. Lourenço é investigadora no Museu Nacional de História Natural e da Ciência da Universidade de Lisboa. Coordena o Departamento de História e Cultura Material e é responsável pelos acervos e património histórico do Museu. Os seus interesses de investigação incluem a história dos gabinetes de física, o património científico e o património universitário. Pertence às Direções da Scientific Instrument Commission (International Union for the History and Philosophy of Science) e da Comissão Nacional Portuguesa do *International Council of Museums* (ICOM). É Vice-Presidente da Rede Europeia UNIVERSEUM para o património das universidades. Pertence ao Centro Interuniversitário de História da Ciência e da Tecnologia (pólo UL) e ao CDHT, *Centre d'histoire des techniques et de l'environnement, Conservatoire National des Arts et Métiers/Ecole des Hautes Etudes en Sciences Sociales*, Paris.



António Perestrelo de Matos foi co-fundador da Caminus-Actividades Culturais, onde foi autor e investigador dos projetos: Itinerários Medievais, 1988-1992 (SNParques); Romarias e Romeiros, 1992-94 (JNICT); Museus Locais 1994-2001 (JNICT/FCT). Foi investigador dos projetos: Águas Minerais – usos terapêuticos, 2003-2007; A Sífilis no Desterro – arte e clínica, 2010-2011. Ambos realizados no ICS-UL, com a orientação de Cristiana Bastos (FCT). Foi investigador no projeto Paiving a Way, MCUL, 2008-2010 (FCT) orientação de Marta Lourenço, voltou ao MUHNAC em 2011, onde desenvolve um projeto museológico de Requalificação do Observatório Astronómico, orientação de Marta Lourenço (FCT).

(esta página par está propositadamente em branco)