

congresso da reabilitação do património

Aníbal Costa
Ana Velosa
Alice Tavares



universidade de aveiro
theoria poiesis praxis

FICHA TÉCNICA

EDITORES

Aníbal Costa

Ana Velosa

Alice Tavares

PAGINAÇÃO E MONTAGEM

Briefing

CAPA

Ana Sofia Almeida (UA)

IMPRESSÃO

Tipografia A Lusitânia

TIRAGEM

200 exemplares

EDIÇÃO

1ª Edição - junho de 2017

ISBN

978-989-20-7623-2

DEPÓSITO LEGAL

428009/17

Os textos são da exclusiva responsabilidade dos seus autores.

© Os autores. 2017

© Os editores. 2017

Universidade de Aveiro – Departamento de Engenharia Civil
Campus Universitário de Santiago | 3810-193 Aveiro

Imagens multiespectrais e termográficas aplicadas ao estudo de Património Arquitectónico

Multispectral and thermographic images applied to the study of Architectural Heritage

Pereira¹, Luís Bravo; Vale², Clara Pimenta do; Venceslau³, Ruben

¹lpereira@arq.up.pt

²clara_vale@arq.up.pt

³ravenceslau@hotmail.com

Resumo

A fotografia multiespectral (do Ultravioleta ao Infravermelho, passando pelo espectro visível) e a termografia são importantes ferramenta na documentação e avaliação não-invasiva do estado de conservação de bens patrimoniais. Este estudo apresenta resultados preliminares do uso inovador destas técnicas aplicadas ao estudo de edifícios, trazendo para o âmbito da Arquitectura, técnicas conhecidas e estabelecidas em outras áreas do conhecimento científico (p. ex. Arqueologia, História de Arte e Conservação e Restauro). Os resultados obtidos até agora permitem concluir que estas metodologias têm aplicabilidade prática na documentação e estudo de edifícios, com especial interesse para o Restauro e Reabilitação.

Palavras-chave

Fotografia; Multiespectral; Termografia; Infravermelho; Ultravioleta; Fluorescência.

Abstract

Multispectral photography (from Ultraviolet to Infrared, including the visible spectrum) and thermography are important tools in documenting and non-invasive assessing the conservation status of Architectural Heritage. This study presents preliminary results of the innovative use of these techniques applied to the study of buildings, thus bringing to Architectural scope well-known techniques established in other areas of scientific knowledge (such as Archaeology, Art History and Conservation and Restoration). Present results allow us to conclude that these methodologies have practical use on building analysis and documentation, being especially interesting for Restoration and Rehabilitation.

Keywords

Photography; Multispectral; Thermography; Infrared; Ultraviolet; Fluorescence.

Introdução

A visualização e documentação fotográfica das camadas pictóricas de superfícies arquitectónicas, muito erodidas ou mascaradas por deposições diversas devidas ao envelhecimento, pode ser melhorada pelo recurso à informação recolhida em determinados comprimentos de onda do espectro electromagnético, seja com luz visível, seja recorrendo a radiação não visível (como radiação Ultravioleta - UV, dos 350 aos 400nm de comprimento de onda - ou Infravermelha próxima - IV, dos 700 aos 1100 nm). A fotografia científica pode recorrer ao tipo de documentação ou exame não invasivo, dito "multiespectral" [1-4], pois regista a radiação num número de bandas superiores às habituais três bandas Vermelha, Verde e Azul (ou RGB, do inglês 'Red, Green, Blue'- sistema usado nas câmaras fotográficas - e idêntico em parte ao funcionamento do sistema visual humano, que é também tricromático). As fotografias multiespectrais combinam, numa mesma imagem, informações provenientes de diversas fontes ou canais, tirando partido das possibilidades de edição gráfica dos softwares actuais.

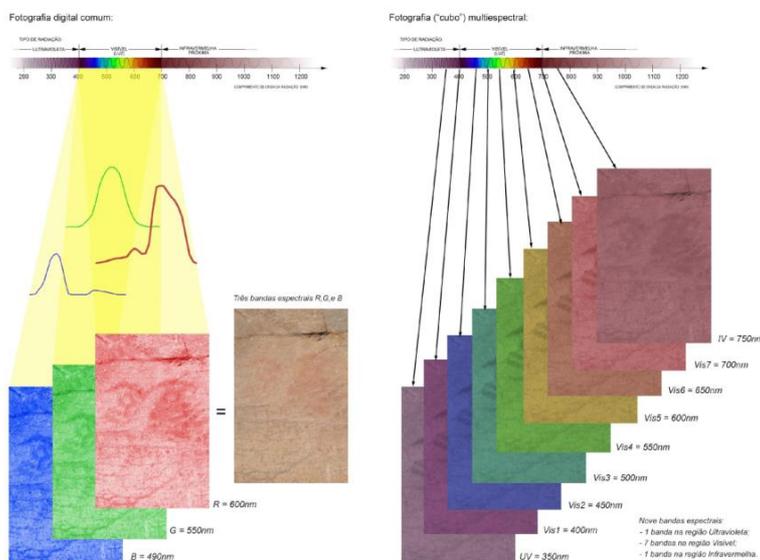


Figura 1. Esquema explicativo de fotografia RGB 'normal' versus fotografia multiespectral.

Na Figura 1 compara-se uma fotografia digital 'normal' (três bandas RGB) com um sistema hipotético multicanal ou multiespectral. A combinação da informação dessas nove bandas (sete de luz visível, uma de UV e uma de IV) pode evidenciar elementos que estavam ocultos. Em alguns casos a simples visualização individual de algumas dessas bandas já permite revelar mais informação do que a perceptível a 'olho nu' ou numa fotografia normal RGB. Noutros casos é necessário outro tipo de edição, ou por não se ter atingido o nível de clareza da imagem pretendido, ou quando apenas se tem acesso a fotografia digital RGB. Com recurso ao processamento por computador, recombina-se diferentes canais ou bandas espectrais, produzindo-se assim imagens de cor virtual que realçam determinados aspectos das camadas pictóricas, evidenciando, por exemplo, oxidação de elementos metálicos, degradação por agentes biológicos, ou permitindo em alguns casos perceber sobreposições de materiais (Figura 2).

A simples observação de imagens registadas com radiação IV próxima permite por vezes identificar desenho subjacente realizado pelo artista, quase sempre preparatório à execução da pintura, assim como anotações ou assinaturas ocultas realizadas pelo mesmo (Figura 3).

Em casos específicos, em interior de edifícios, é possível também recorrer a imagens obtidas por fluorescência [5], que podem ser usadas em conjugação com as anteriores ou isoladamente. No presente estudo usa-se a Fluorescência UV que corresponde a um tipo de fotografia em que se regista luz visível (pelo que pode ser captada com uma câmara comum) mas que requer obscuridade e uma fonte de radiação UV monocromática - certos materiais, quando excitados pela radiação UV, emitem luz de fluorescência que permite em alguns casos identificar ou realçar zonas de repintes, vernizes, colas, pigmentos fluorescentes, etc. (Figuras 4 a 7).

Complementarmente ao registo de radiação electromagnética de comprimentos de onda próximos (ou dentro) da radiação visível - ou seja, de comprimentos de onda entre os 350 e os 1100 nm - podem ainda ser usados registos electrónicos da radiação infravermelha (com câmaras especiais que captam radiação IV distante, isto é, acima dos 3000 nm) e que permitem detectar as variações de temperatura nas superfícies arquitectónicas indiciando heterogeneidades na resistência térmica do elemento de construção. Correspondem ao tipo de registo a que se convencionou apelidar de 'termografia', uma vez que as imagens não são mais do que do tipo fotográfico, i.e., não registam a radiação dos objectos mas sim são 'termogramas', acromáticos ou de cor virtual, mas em que há uma correlação directa entre a temperatura a que os objectos se encontram (e emitem radiação IV nestes comprimentos de onda) e a cor/escala de cinzas a que são representados. Outras formas de representação bidimensionais ou tridimensionais são possíveis, uma vez que o registo não é mais do que uma matriz de pontos com o registo de temperatura (Figuras 8 a 11).

O primeiro uso de câmaras termográficas para a detecção de temperaturas superficiais foi para fins militares, no início do século passado, mas as vantagens da tecnologia cedo levaram à sua utilização em diferentes campos, da astronomia à medicina, da agricultura à indústria. A evolução tecnológica dos últimos anos, que permitiu dispensar as unidades de arrefecimento tornando a câmara mais portátil e mais acessível, tem levado a uma utilização crescente da termografia de infravermelhos no sector dos edifícios, primeiramente mais ligada à questão de monitorização energética e verificação de erros de projecto e execução (por ex. localização de pontes térmicas) mas actualmente como uma ferramenta não intrusiva para a caracterização construtiva e diagnóstico do estado de conservação [6].

Se a termografia já tem uma aplicação aos edifícios com algumas décadas, com investigação no estrangeiro [7] e em Portugal [8], a fotografia multiespectral e de Fluorescência UV aplicada à avaliação do edificado é um campo novo que os autores do presente artigo estão a examinar, pretendendo obter informação acrescida sobre o edifício pela utilização simultânea das diversas técnicas.

Definição Experimental: Equipamentos e Metodologia de Ensaios

As condições de trabalho de campo são distintas para as diferentes técnicas, e a primeira tarefa passou por aferir as condições de realização e suas limitações ou condicionantes.

Fotografia Multiespectral

Nas fotografias de luz visível e de radiação não visível utilizadas no registo multiespectral foi utilizada uma câmara do tipo D-SLR, modelo Fuji Finepix IS Pro, de 12 megapixéis, sem filtro interno anti-IV, sensibilidade espectral dos 360 aos 1000 nm de comprimento de onda de radiação electromagnética. A objectiva usada com esta câmara foi uma Coastal Optics UV-VIS-IR 60mm f/4 Apo Macro, lente para uso científico e forense, apocromática na banda de radiação electromagnética entre 315 e os 1100nm. Os filtros de selecção de banda utilizados foram: um Baader UV/IR Cut (fotografias de luz visível e de fluorescência UV); um equivalente a B+W 093 (fotografias de radiação infravermelha); e Baader U2 Venus Filter (fotografias de radiação ultravioleta reflectida). No âmbito deste trabalho foi utilizada iluminação natural no registo multiespectral. A medição da exposição realizou-se usando um fotómetro/exposímetro Sekonic Flashmate L-308B (fotografia de luz visível e de radiação Infravermelha) e os fotómetros internos da câmara (exposição para UV reflectido) e o ajuste à temperatura de cor (equilíbrio de brancos) realizada em cartão cinza a 18% Novoflex e alvo branco Spectralon da Labsphere.

Fotografia de radiação IV Reflectida

No registo de radiação infravermelha reflectida, técnica utilizada em espaços interiores em simultâneo com a fluorescência UV, foi usada uma câmara Nikon D70 (com sensor CCD 6.1 megapixéis) com a mesma objectiva usada no registo de fluorescência UV; foi utilizado um filtro selector de banda do tipo *high pass*, aplicado à frente da objectiva, marca e modelo Cokin P 007 IR (correspondente ao filtro Wratten 89b da Kodak), com transmissão espectral acima dos 720 nm. Como fonte de iluminação foram utilizados dois projectores de lâmpadas halogénio, Haloline Pro 400w, com uma temperatura de cor no valor de 3000k e um fluxo luminoso de 8750 lm, também da marca comercial Osram. Procurou-se que a iluminação fosse o mais homogénea possível, utilizando-se para tal duas fontes de luz, montadas com um ângulo de incidência de 45° em relação ao plano do objecto de estudo. As câmaras foram montadas com o plano do sensor paralelo ao plano do objecto de estudo, para que resultasse num registo sem distorção e mais fidedigno. As duas fontes de luz são idênticas em tudo: o mesmo tipo de lâmpada, estrutura, reflectores, potência e estabilidade.

Fluorescência UV

No registo de fluorescência UV foi usada uma câmara Nikon D5200 (com sensor CMOS de 24,1 megapixéis) com a objectiva Nikkor 18-105 mm 1:3.5-5.4G VR. O tipo de câmara digital utilizado no trabalho dispensou a aplicação de filtros externos, porque o filtro interno AA (“anti-aliasing”) é eficaz no corte das radiações não visíveis (contrariamente ao que acontece com câmaras mais antigas - p.ex. a Nikon

D70). Como fonte de iluminação foram usadas lâmpadas fluorescentes tubulares, do tipo ‘luz negra’ da marca Osram (potência nominal de 18w), com a emissão de radiação no comprimento de onda entre 300 a 400 nm (correspondente à porção da radiação UV próximo, e com uma absorção da radiação visível quase total),.

Termografia

Os registos termográficos foram executados com uma câmara FLUKE Ti200, de sensibilidade espectral para radiação infravermelha distante (comprimentos de onda entre 7,5 e 14 μm com uma resolução de 200x150 pixéis) e que regista também fotografia de luz visível (com uma resolução de 5 megapixéis). Para a visualização posterior e tratamento dos registos foi usado o software Smartview, também da Fluke. A utilização deste tipo de câmara termográfica pode dispensar outros equipamentos (incluindo a iluminação), desde que as condições locais garantam que existe uma variação de temperatura de alguns graus entre as duas faces do elemento de construção, ou entre a face visível do paramento e a temperatura ambiente, para existir transferência térmica. Em locais onde estas condições não são reunidas podem-se usar fontes de aquecimento externas (por exemplo, por radiação incidente proveniente de focos luminosos de halogéneo), sendo, nesse caso, estabelecidas distintas metodologias de ensaio.

Discussão de Resultados

Fotografia Multiespectral

No caso ilustrado na figura 2, usando como fonte de radiação o Sol, efectuaram-se imagens fotográficas de luz visível (2.A), de radiação Infravermelha (2.C) e de radiação Ultravioleta (2.D). Na figura 2.B recombinau-se numa imagem RGB a informação obtida em três comprimentos de onda distintos (imagem do tipo ‘multiespectral’), produzida da seguinte forma: no canal R da imagem colocou-se uma imagem monocromática da fotografia IV (2.C), no canal G a informação do canal ‘Verde’ da fotografia de luz visível (2.A) e no canal B um imagem monocromática da imagem do canal de radiação UV (2.D). Na comparação entre a imagem ‘normal’ (fotografia de radiação visível) com a imagem multiespectral, verificamos que se torna muito mais fácil identificar vegetação (plantas rupícolas, musgos e líquenes), uma zona de oxidação de um elemento metálico na porta do edifício, manchas de erosão ou de degradação biológica, etc. Este tipo de informação pode ser importante, por exemplo, pós intervenção de aplicação de um biocida, para determinar zonas em que o tratamento não resultou, ou que mais rapidamente está a haver re-infestação.



Figura 2. (da esquerda para a direita) Imagem de Luz Visível (2A), Multiespectral (2B), Radiação IV (2C) e de radiação UV (2D).

Fotografia de radiação IV Reflectida

No caso ilustrado na figura 3, registado no interior de um edifício com recurso a iluminação artificial, podemos observar um caso de presença de desenho preparatório e de uma assinatura ou anotação do pintor, subjacentes à camada pictórica de pintura mural. Esta imagem é ilustrativa do potencial desta técnica, quando aplicável a património arquitectónico.



Figura 3. Imagem de radiação visível (3A) e de radiação IV próxima (3B) na qual se identificam linhas tracejadas de desenho preparatório e uma assinatura ou anotação.

Fluorescência UV

A fluorescência UV aplicada ao interior de edifícios mostrou-se ser uma das técnicas mais úteis e promissoras, contudo é a que apresenta mais condicionantes na sua aplicação, pela necessidade de total obscuridade. Para registar apenas a luz emitida pelo fenómeno de fluorescência (fenómeno este induzido pelo uso de iluminadores de radiação UV – ‘luzes negras’), não podem existir outras ‘contaminações’ luminosas, desde entradas por frinchas, iluminação de emergência, ou a própria luz da lua e estrelas.. Nas figuras 4 a 7 apresentam-se alguns exemplos de resultados obtidos com esta técnica, cuja análise é feita na respectiva legenda.



Figura 4. Tecto com estrutura de madeira revestido a estuque. Luz visível (4A) e imagem de fluorescência UV (4B), na qual as manchas brancas correspondem a zonas de possível repinte.

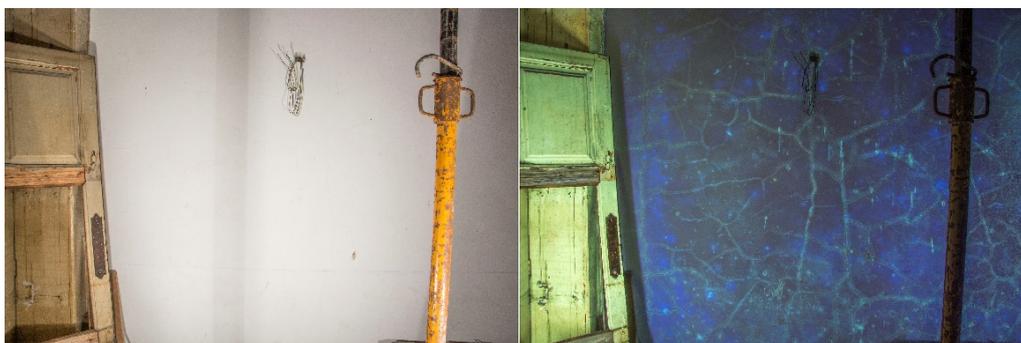


Figura 5. Parede revestida a reboco. Luz visível (5A) e imagem de fluorescência UV (5B), na qual o padrão raiado de cor esverdeada corresponde a microfissuras no reboco.



Figura 6. Zona de lacuna de revestimento de uma parede em alvenaria. Luz visível (6A) e imagem de fluorescência UV (6B), na qual as áreas que se apresentam com fluorescência esverdeada correspondem a zonas de efluorescência de sais ou de ataque biológico da camada de revestimento, não detectáveis na imagem 6A.



Figura 7. Parede interior de um edifício. Luz visível (7A) e imagem de fluorescência UV (7B), na qual se apresenta um padrão de fluorescência branco-azulada, que corresponde a áreas onde existe resíduos de cola, indicativos de provável presença anterior de um acabamento decorativo em papel ou tecido.

Termografia

No caso da termografia, o facto da execução dos ensaios não requerer a montagem de outro equipamento, acrescida da portabilidade da máquina e da forma dinâmica (em tempo real) como as leituras podem ser feitas, permite fazer varrimentos integrais a compartimentos ou edifícios, tornando-se uma ferramenta determinante num processo de avaliação do edificado. As potencialidades são muitas desde a caracterização construtiva através da localização de elementos ocultos, a determinação de zonas com deficiência de execução pela localização de pontes térmicas, até à localização de problemas, como infiltrações ou condensações, algumas das quais são documentadas nas Figuras 8 a 11.

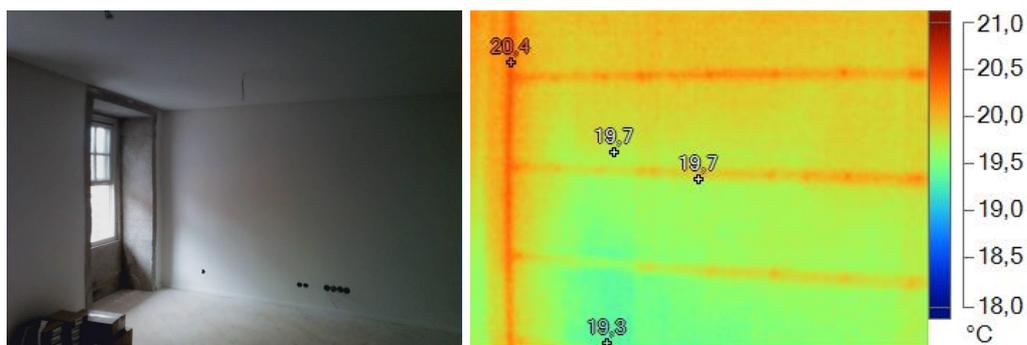


Figura 8. Parede interior de um edifício reabilitado recentemente. Luz visível (8A) e imagem termográfica (8B), na qual são identificáveis os elementos da subestrutura de suporte do revestimento de placas de gesso cartonado.

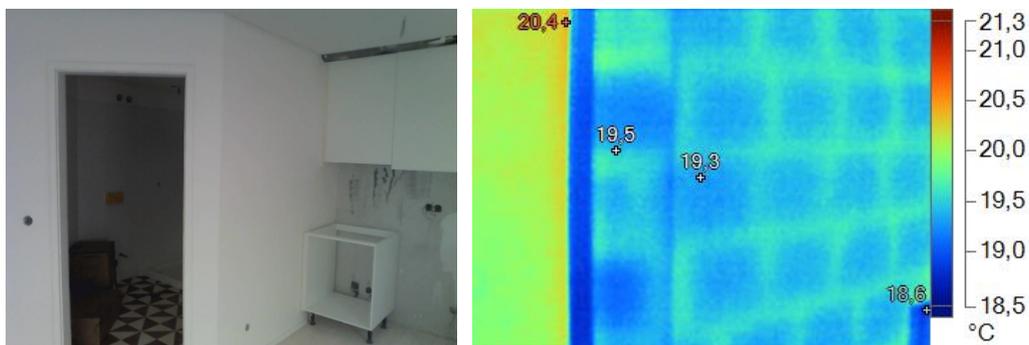


Figura 9. Parede divisória interior de um edifício. Luz visível (9A) e imagem termográfica (9B), na qual são identificáveis os elementos de alvenaria da parede.

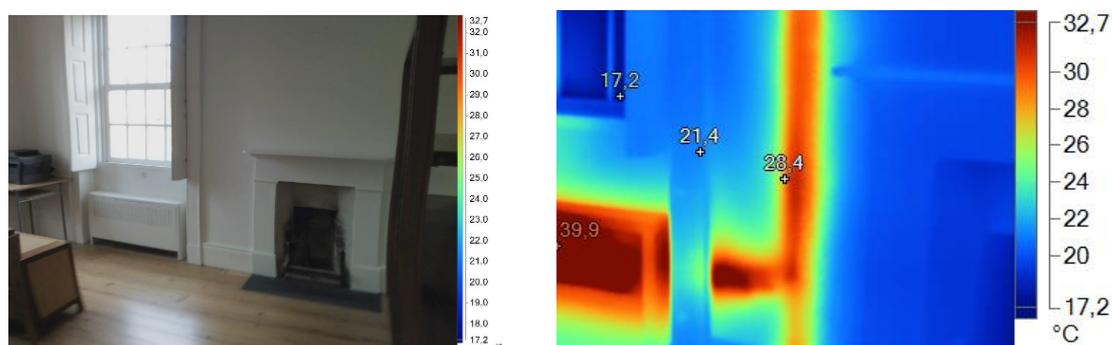


Figura 10. Parede de um edifício. Luz visível (10A) e imagem termográfica (10B), na qual é identificável a localização das tubagens de aquecimentos, que estão embebidas na parede.

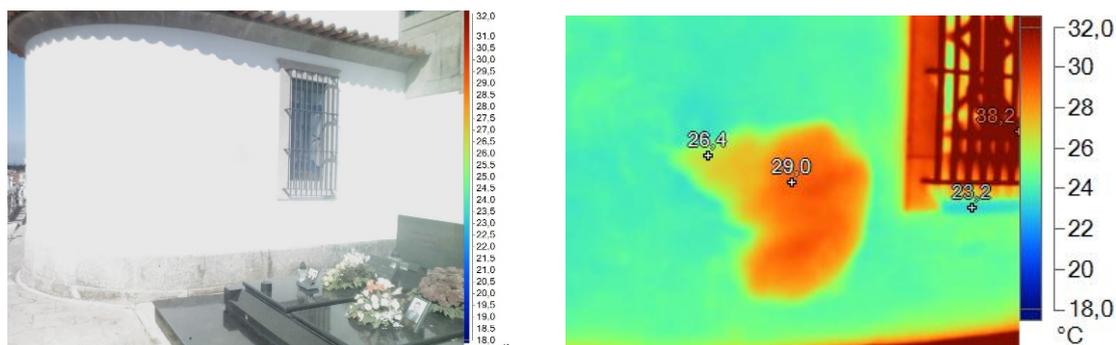


Figura 11. Parede exterior rebocada de um edifício. Luz visível (11A) e imagem termográfica (11B), onde se identifica uma zona mais quente da parede, possivelmente resultante da presença de uma lâmina de ar atrás da camada de revestimento (criptofluorescência).

Conclusões

O conhecimento das características do edificado [9] e uma correcta, mas simples e não invasiva, forma de avaliação do seu estado de conservação são ferramentas determinantes nos seus processos de restauro, reabilitação e reconversão, bem como na identificação de elementos de valor a manter e preservar. As técnicas imagiologias apresentadas, usadas individualmente ou conjuntamente, permitem aumentar o conhecimento sobre o edifício e as suas características, com vista a uma mais correcta

intervenção. Avaliando o conjunto de ensaios feitos e os resultados obtidos, perspectiva-se como trabalho futuro o cruzamento das técnicas de fluorescência com análises químicas em laboratório, e as da termografia com a fotogrametria (não tratada neste artigo).

Trabalho cofinanciado pelo Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (FEDER) através do COMPETE 2020 – Programa Operacional Competitividade e Internacionalização (POCI) e por fundos nacionais através da FCT, no âmbito do projeto POCI-01-0145-FEDER-007744.

Referências

- [1] Pereira, L.B., “Uso de câmaras reflex digitais (D-SLR) na captura de imagens multiespectrais de obras de arte” in *Encontro Luso-Brasileiro de Conservação e Restauro*, Porto, Portugal, (2011).
- [2] Pereira, L.B., “Análise Multiespectral de Pintura usando câmaras DSLR digitais” in *V Jornadas de Arte e Ciência UCP*, Porto Portugal (2008).
- [3] Pires, H.,L.B. Pereira, “Novos Métodos de registo digital de arte rupestre: digitalização tridimensional e fotografia multiespectral” in *Jornadas Raianas*, Sabugal, Portugal (2009).
- [4] Pereira, L.B., IMAGENS HIPERESPETRAIS APLICADAS AO ESTUDO E CONSERVAÇÃO DE OBRAS PICTÓRICAS, Tese de Doutoramento, Universidade Católica Portuguesa, Porto (2014).
- [5] Pereira, L.B., “UV Fluorescence Photography of Works of Art: Replacing the Traditional UV Cut Filters with Interference Filters”, *International Journal of Conservation Science*, 1(3), (2010) p. 161-166.
- [6] Spodek, J.,E. Rosina, “Application of Infrared Thermography to Historic Building Investigation”, *Journal of Architectural Conservation*, 15 (1) (2009) p. 65-81.
- [7] J.M.Hart, *A PRATICAL GUIDE TO INFRA-RED THERMOGRAPHY FOR BUILDING SURVEYS*. BRE Report 176, Building Research Establishment (1991).
- [8] Barreira, E.S.B.M., APLICAÇÃO DA TERMOGRAFIA AO ESTUDO DO COMPORTAMENTO HIGROTÉRMICO DOS EDIFÍCIOS, Tese de Mestrado, (2004).
- [9] Vale, C.P.d.,Almeida, V.A., “Entre tradição construtiva e modernidade arquitectónica. Caracterização construtiva da habitação corrente da cidade do Porto no segundo quartel do século XX”, in *Patorreb 2012*, Santiago de Compostela, (2012).