

Identificação de regiões de lacunas numa pintura retabular: análise comparativa de métodos de classificação em ambiente SIG

Frederico Henriques, Alexandre Gonçalves

Resumo

No texto são apresentados alguns métodos de análise espacial, executáveis em ambiente de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), com o objectivo de quantificar a área de lacunas brancas de uma pintura sobre madeira do século XVI. Partindo de uma imagem obtida durante uma intervenção de conservação e restauro, da aplicação da análise de componentes principais (ACP) e da utilização de diversos classificadores de pixéis, efectuaram-se mapas temáticos das regiões de lacunas. Foram utilizados quatro métodos: uma divisão automática do histograma em intervalos (*level slicing*); uma limiarização (*thresholding*); um método de classificação supervisionada, baseada em áreas de treino, numa assinatura espectral e na aplicação de uma classificação de máxima verosimilhança (CMV); e um de classificação não supervisionada com um algoritmo de agrupamento de células, designado no programa informático de *iso cluster*. Nas condições em que foram feitos os ensaios, obtiveram-se melhores resultados na identificação das lacunas com a limiarização e a classificação supervisionada.

Palavras-chave

Pintura sobre madeira, documentação, lacunas, análise espacial, classificação, SIG

Identification of lacunae in a wood painting: comparative analysis of classification methods in GIS-based spatial analysis

Abstract

In this text some GIS-based spatial analysis methods are presented, enabling the quantification of areas with white lacunae in a 16th century wood painting. With an image produced during a conservation/restoration intervention, and applying a principal component analysis (PCA) as well as several classifiers, thematic maps of the lacunae were created. Four methods were used: automatic division of histogram in intervals (*level slicing*); a limiarization (*thresholding*); a supervised classification method based in the production of training areas, a spectral signature and a maximum likelihood classification; and an unsupervised classification method with a cell aggregation algorithm (*iso cluster*). In the conditions under which essays were made, best results in the identification of lacunae were obtained with the limiarization (*thresholding*) and the supervised classification methods.

Keywords

Wood painting, documentation, lacunae, spatial analysis, classification, GIS

Identificación de lagunas en una pintura de retablo: análisis comparativo de los métodos de clasificación en ambiente SIG

Resumen

En este texto se presentan algunos métodos de análisis espacial, ejecutables en ambiente de Sistemas de Información Geográfica, con el objetivo de cuantificar el área de las lagunas de color blanco de una pintura sobre madera del siglo XVI. Partiendo de una imagen obtenida durante los tratamientos de conservación y restauración, de la aplicación de análisis de componentes principales (ACP) y de la utilización de diversos clasificadores de píxeles, se llevaron a cabo mapas temáticos de las regiones de lagunas. Se utilizaron cuatro métodos: uno de separación automática de los intervalos del histograma (*level slicing*); una limiarización (*thresholding*); un método de clasificación supervisada, basada en áreas de ensayo, en una firma espectral y en la aplicación de una clasificación de máxima verosimilitud (CMV); y una clasificación no supervisada con un algoritmo de agrupamiento de células, llamado en el programa informático *iso cluster*. En las condiciones en las que se realizaron las pruebas, se obtuvieron mejores resultados en la identificación de lagunas con los métodos de limiarización y de clasificación supervisada.

Palabras clave

Pintura sobre madera, documentación, lagunas, análisis espacial, clasificación, SIG.

Introdução

O objectivo do exercício seguidamente exposto consistiu em comparar diversos métodos de classificação de píxeis e avaliar os seus desempenhos na delimitação das áreas de lacunas. Para tal, utilizou-se de base uma imagem digital de uma pintura com a representação da cena bíblica do "Calvário". O registo fotográfico fez-se durante uma intervenção de conservação e restauro, mais especificamente após a fase de limpeza da camada protectora alterada, remoção dos repintes e depois da aplicação de massas de preenchimento branca nas lacunas (fig.1). A obra analisada foi um painel de madeira, executado por autor ou oficina não identificada, que evidencia parecenças técnicas, formais e de tratamento cromático com o retábulo pictórico da capela de Santa Catarina de Alpedrinha e que pelas suas características tecnológicas do suporte sugere ser da segunda metade do século XVI ou início do século XVII. A peça pertence ao Museu Nacional Machado de Castro, em Coimbra.

O estudo aplicado desenrolou-se em dois momentos principais: primeiro pela utilização da análise de componentes principais (ACP) e depois pela utilização dos classificadores. Usados em vários domínios, os classificadores são processos analíticos muito comuns em detecção remota, onde se aplicam na identificação de regiões ou entidades em imagens de satélite ou fotografias aéreas, e que possibilitam segmentar áreas de uma imagem

**Identificação de regiões de lacunas numa pintura
retabular: análise comparativa de métodos de classificação em ambiente SIG**

Frederico Henriques, Alexandre Gonçalves

com determinadas características, agregando-as em classes (Lillesand, Kiefer e Chipman, 2008). No âmbito dos Bens Culturais conhecem-se algumas aplicações particulares, por exemplo, em arte rupestre, onde foi utilizada para delimitação e identificação de figuras e quantificação de áreas associadas aos pigmentos e materiais do suporte (Mark e Billo, 2006: 10-14). Tanto a ACP como os classificadores podem ser aplicados com diversos programas informáticos. No entanto, no nosso caso optou-se por aplicá-los em ambiente de sistemas de informação geográfica (SIG), em virtude da disponibilidade no seu acesso e da versatilidade no seu uso em poder associar informação alfanumérica ao projecto.



Figura 1 - Pannel de pintura quinhentista: “Calvário”

Metodologia

Com o objectivo de identificar e quantificar as lacunas do pannel recorreu-se ao programa de SIG *ESRI® ArcGIS™ 9.1* com o módulo *Spatial Analyst™*. A imagem de base utilizada encontrava-se em formato TIFF, com as dimensões de 1730 x 1785 pixéis e 8,85 MB. O registo digital tinha sido obtido em condições de ateliê de conservação e restauro com uma câmara *Sony™ Cybershot F-717*, tendo em linha de conta que o eixo da objectiva estava perpendicular e centrado na peça. Por uma questão de nomenclatura, importa referir que em ambiente SIG uma imagem também se pode chamar como uma estrutura de dados matricial ou *raster* (Chou, 1997).

**Identificação de regiões de lacunas numa pintura
retabular: análise comparativa de métodos de classificação em ambiente SIG**

Frederico Henriques, Alexandre Gonçalves

A primeira fase da aplicação do método consistiu em usar a ferramenta de análise de componentes principais (ACP) na imagem. O seu resultado foi a produção de uma nova imagem com novas propriedades, que se pode definir como sendo de falsa cor (fig.2). Uma das razões que motivam o uso da ACP é a compactação de dados de um *raster* (*RGB*) por meio da eliminação da redundância da informação (ESRIa, 2008). Por meio da rotação dos eixos que dizem respeito à cromaticidade do vermelho, verde e azul das cores da imagem, a análise de componentes principais usa-se para descorrelacionar os dados multivariados de uma matriz. Os dados referidos são os valores dos respectivos pixéis no espaço de cor. No caso em estudo a vantagem da aplicação da ACP é a sua capacidade de fazer o destaque das lacunas com maior evidência nesse espaço de cor. Veja-se na imagem que as lacunas, originalmente brancas, nas condições em que se fez a fotografia e pelas propriedades do material de preenchimento (estuke), apresentam após o uso da ACP uma matriz vermelha em tom rosado. Com essa operação verificou-se, por comparação das matrizes produzidas para os três canais (*RGB*), que das três componentes principais produzidas, a que melhor delimitava as lacunas era a primeira (PC1). Porém, no decurso do exercício, a fim de aproveitar a informação das três componentes usaram-se as mesmas três (PC1, PC2, PC3).

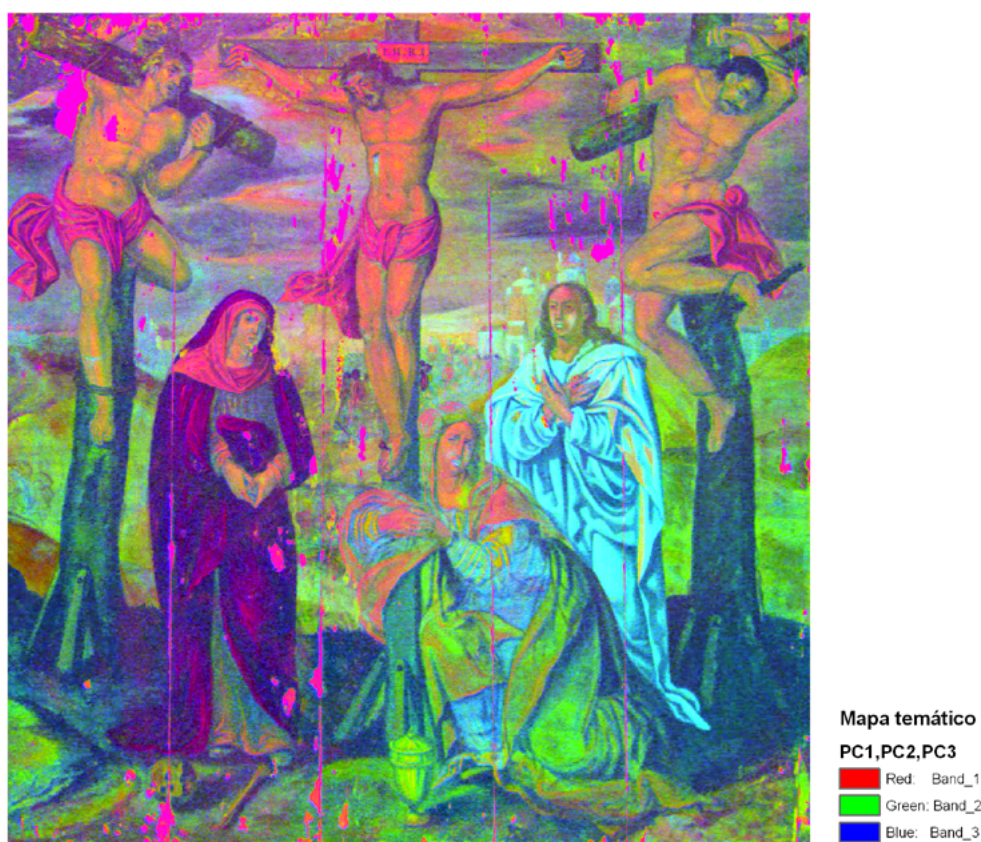


Figura 2 - Imagem de falsa cor da análise de componentes principais (ACP) em visualização *RGB composite*.

**Identificação de regiões de lacunas numa pintura
retabular: análise comparativa de métodos de classificação em ambiente SIG**

Frederico Henriques, Alexandre Gonçalves

Numa segunda fase, operando sobre a imagem do resultado anterior (PC1, PC2, PC3), efectuou-se um primeiro exercício de avaliação espectral, dividindo o histograma em quatro classes de igual amplitude (*level slicing*) (fig.3).

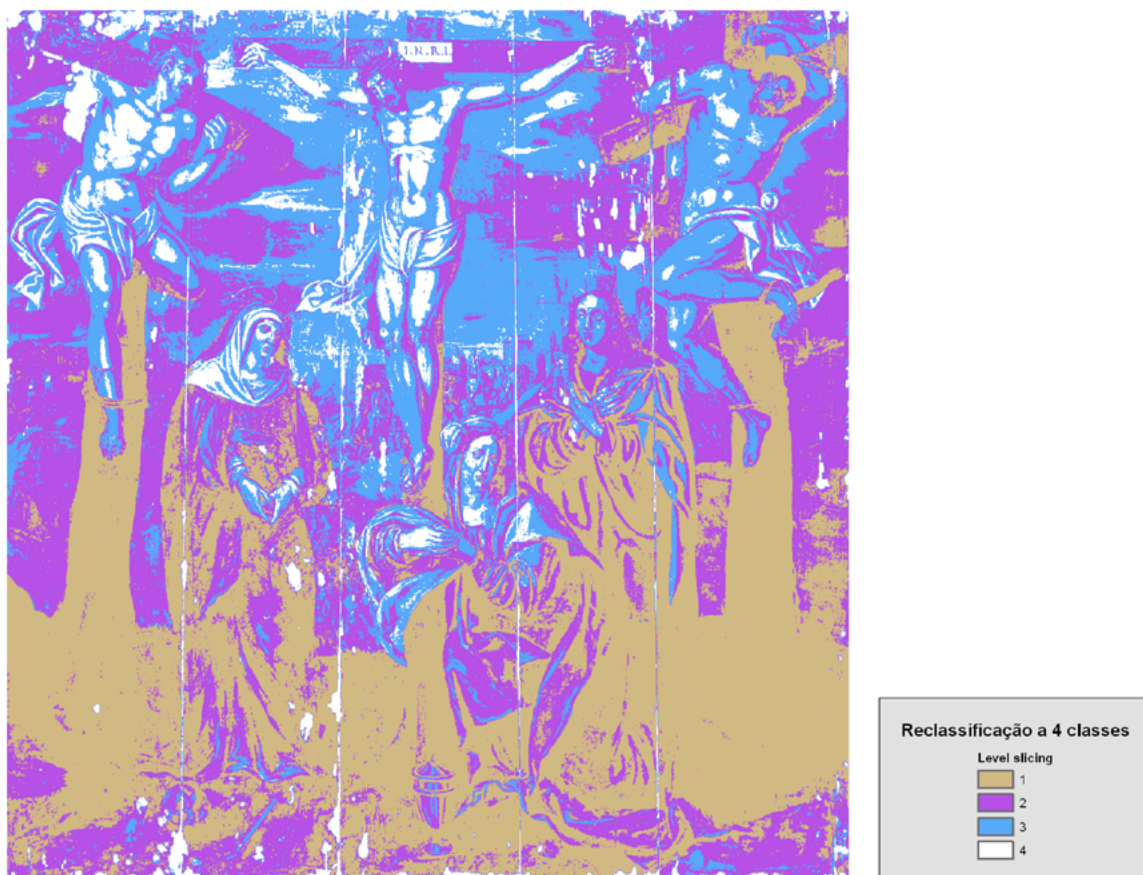


Figura 3 - Imagem de falsa cor da reclassificação a 4 classes (*level slicing*).

Num segundo exercício, por observação do histograma, determinou-se no *raster* PC1, PC2, PC3 um valor de corte e reclassificou-se em apenas duas classes (*thresholding*). Uma classe foi atribuída às lacunas e outra às não-lacunas. A experiência demonstrou a existência de uma dificuldade na aferição de um valor de corte, que terá de ter valores muito elevados (próximos do máximo), de modo a não estender demasiado as zonas a segmentar, já que essa afinação é manual e iterativa. Com base no histograma estendido (*stretched*) entre um valor mínimo de 11 e máximo de 411, no exercício avaliou-se o valor 400 como um razoável valor de corte (*break value*) (fig.4).

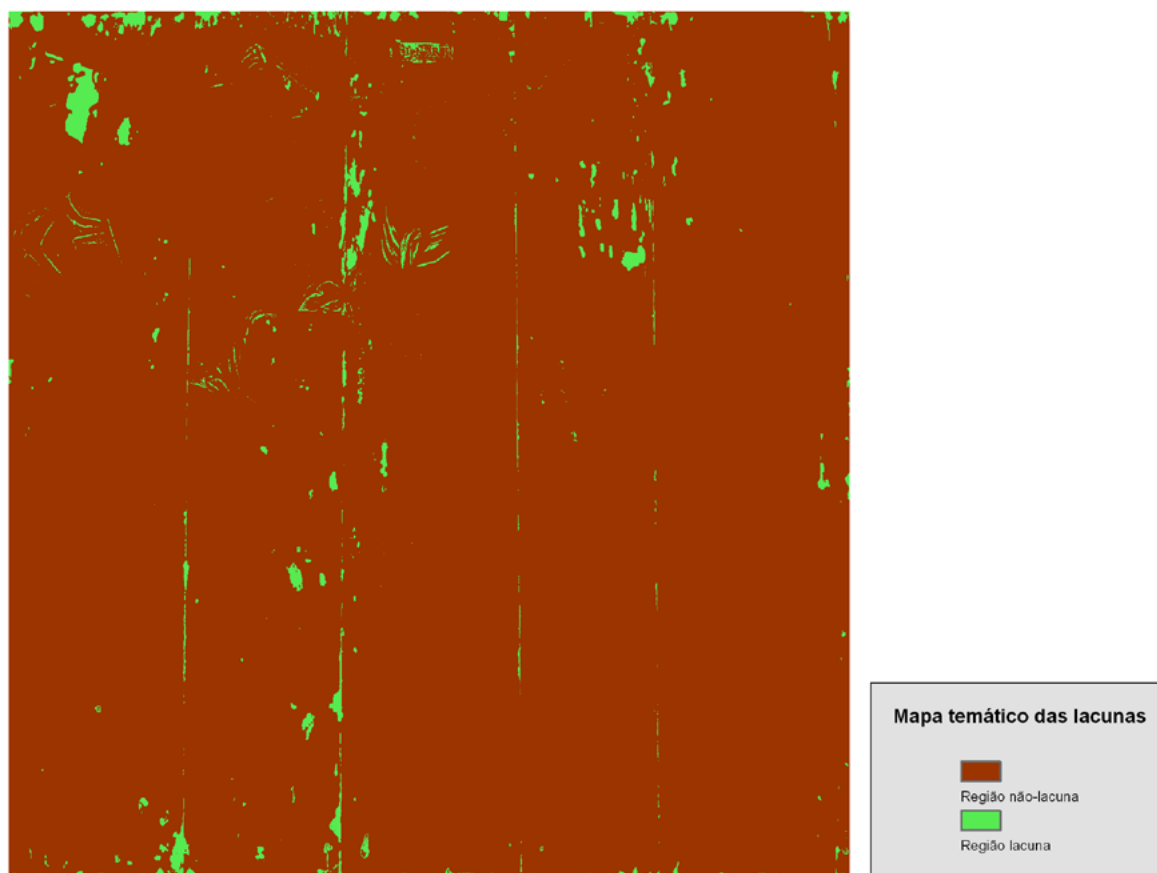


Figura 4 - Mapa temático das regiões de lacunas e não lacunas produzido por limiarização.

Num terceiro momento foi efectuada uma classificação supervisionada da imagem designada como PC1, PC2, PC3. A criação de uma assinatura espectral resultou da construção de uma amostra de áreas de treino poligonais (47 áreas divididas por quatro classes na tabela de atributos: *lacunas*, *carnações*, *panejamento vermelho* e *panejamento azul*) e computação da matriz de covariância. Posto isso, realizou-se a classificação de máxima verosimilhança (ESRIb, 2009) com o *input* da imagem da PC1, PC2, PC3 e a assinatura produzida (fig.5). O último exercício pretendeu avaliar a performance de uma classificação não supervisionada, e recorreu ao algoritmo *Iso Cluster* (ESRIc, 2009) através da criação de uma assinatura, indicando 4 classes e 20 iterações. Após a produção da assinatura, efectuou-se a classificação de máxima verosimilhança com o *input* da imagem da PC1, PC2, PC3 e a assinatura produzida (fig.6).

**Identificação de regiões de lacunas numa pintura
retabular: análise comparativa de métodos de classificação em ambiente SIG**

Frederico Henriques, Alexandre Gonçalves

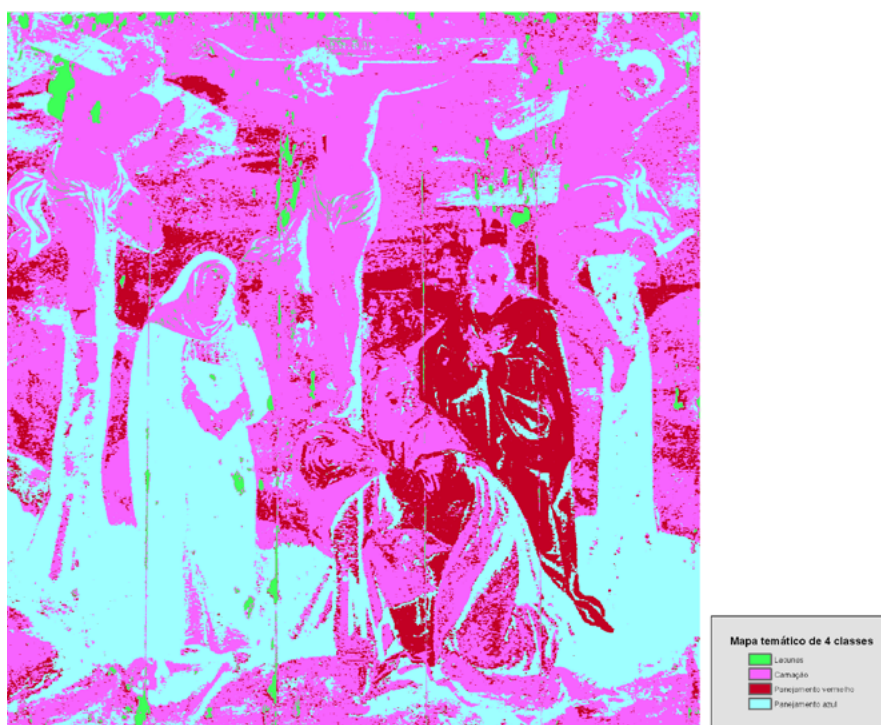


Figura 5 - Mapa temático que resultou da classificação supervisionada com amostras de treino e classificação de máxima verosimilhança.

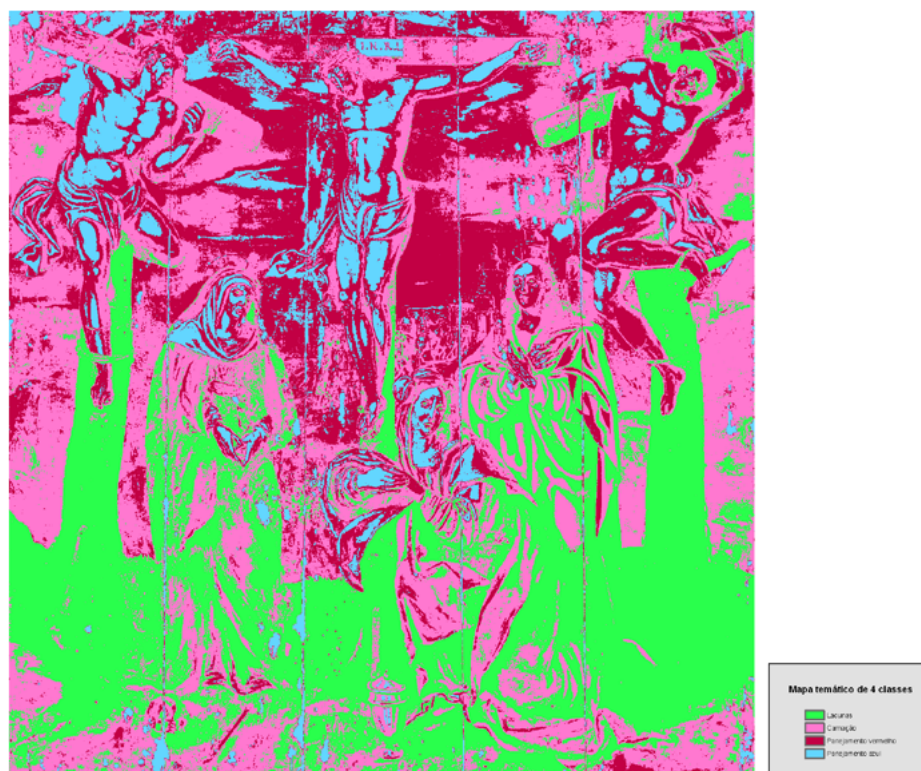


Figura 6 - Mapa temático de 4 classes com classificação não supervisionada, algoritmo *iso cluster* e classificação de máxima verosimilhança.

Sinopse das operações:

- Entrada da imagem TIFF no programa de SIG;
- Análise de componentes principais (ACP);
- Operação de segmentação por determinação automática dos intervalos (*level slicing*);
- Reclassificação a duas classes (*thresholding*);
- Classificação com a assinatura das amostras de treino e máxima verosimilhança;
- Classificação com a assinatura do algoritmo *iso clusters* e máxima verosimilhança.

Resultados e discussão

As tabelas 1 a 4 anotam a dimensão das regiões correspondentes às classes determinadas em cada um dos exercícios. Na tabela 5 apresenta-se uma indicação percentual da área de lacunas e não-lacunas do painel do “Calvário”.

Classes	Pixéis
1	1 058 181
2	1 096 076
3	699 700
4 (lacunas)	234 093

Tabela 1 - Reclassificação do histograma (*level slicing*) a 4 classes

Classes	Regiões	Pixéis
1	Lacunas	67 870
2	Não-lacunas	3 020 180

Tabela 2 - Reclassificação a duas classes (*thresholding*)

Classes	Regiões	Pixéis
1	Lacunas	58 063
2	Carnação	1 601 726
3	Panejamento vermelho	436 323
4	Panejamento azul	991 938

Tabela 4 - Pixéis associados às classes e regiões após classificação não supervisionada.

Classes	Regiões	Pixéis
1	Lacunas	987 772
2	Carnação	1 075 164
3	Panejamento vermelho	721 940
4	Panejamento azul	303 174

Tabela 5 - Área calculada das lacunas consoante os métodos de classificação

Apesar de os métodos apresentados não se demonstrarem totalmente precisos para

a identificação de lacunas, verificou-se que o método de limiarização e o sistema supervisionado com amostragem de polígonos, edição de assinatura e classificação de máxima verosimilhança, ficaram substancialmente próximos da realidade pictórica, com uma percentagem de lacunas de aproximadamente 2,20% e 1,88%.

No primeiro exercício, e uma vez que a divisão do histograma foi feita com valores de corte (*break values*) equidistantes, de modo automático, não tendo em conta especificidades da própria imagem, o resultado não apresentou segmentadas as lacunas. Muitas regiões lacunares foram confundidas com parte significativa das zonas de carnação onde ocorriam valores mais altos dos parâmetros *RGB*. Porém, poder-se-ia testar a reclassificação com um maior número de classes, embora tal induzisse apenas uma classificação mais complexa, com maior número de regiões segmentadas mais difícil de interpretar.

A reclassificação por *thresholding* demonstrou ser bastante fiável, desde que o valor de corte seja o adequado: o resultado do segundo exercício pode tomar-se como positivo em função da razoável segmentação atingida, com pouca área dos panejamentos brancos a ser classificada erradamente como "lacuna", enquanto as verdadeiras áreas de "lacuna" são claramente evidenciadas.

No terceiro exercício os resultados da classificação foram os mais próximos do que é visível na obra à vista desarmada. O número de pixéis classificados como "lacuna" em zonas efectivamente não lacunares (falsos positivos) é inferior ao dos restantes métodos. Outra capacidade interessante é a possibilidade de classificação de outros elementos da superfície pictórica, como sejam as grandes manchas de cor homogéneas ("panejamentos", "carnação", etc.). No entanto, este classificador implica uma intervenção do analista na criação das áreas de treino, sendo naturalmente de aplicação mais demorada.

Com o método *Iso cluster* também se fizeram ensaios na delimitação de oito classes, depois do ensaio efectuado com quatro classes, no sentido de melhor ajustar um valor limite para a classe das lacunas, mas os resultados não se revelaram satisfatórios. O aumento do número de iterações de 20 para 200, que também foi testado, não favoreceu a classificação.

Conclusão

O avanço das tecnologias computacionais, que têm aplicação cada vez mais transversal a várias áreas do conhecimento, tem sido observado nos estudos científicos e nas metodologias de Conservação e Restauro na última década. No que diz respeito à pintura de cavalete e retabular é de notar o aumento significativo do uso de imagens multi-espectrais das obras no seu registo documental.

Todavia, para além da sua utilidade neste contexto, as imagens constituem uma base de informação que pode ser explorada com recurso a programas que efectuem a sua classificação

**Identificação de regiões de lacunas numa pintura
retabular: análise comparativa de métodos de classificação em ambiente SIG**

Frederico Henriques, Alexandre Gonçalves

e tratamento, mas cuja utilização não se encontra tão divulgada em Conservação e Restauro. No exercício apresentado valorizou-se o recurso a métodos aplicados disponibilizados num sistema de informação geográfica, e que tiram partido das suas capacidades analíticas e de classificação de imagens. O objectivo do estudo foi a identificação e caracterização espacial das lacunas de um painel de pintura. As técnicas permitiram confrontar a capacidade de discriminação de lacunas de diversos classificadores, tendo em conta uma análise espectral numa fotografia digital, um registo usual em conservação e restauro. Os processos ensaiados, apesar de demonstrarem alguma margem de erro, possibilitaram quantificar a área original e não original do painel quinhentista. Denotaram-se algumas dificuldades na classificação de zonas claras da obra, como sejam, por exemplo, algumas zonas de panejamentos cinzentos.

A utilização de metodologias automáticas ou semiautomáticas, estruturadas em torno de noções da detecção remota e dos sistemas de informação geográfica, pode ser uma mais-valia metodológica no acompanhamento documental das intervenções de conservação e restauro. O trabalho aqui apresentado pode ser estendido de forma a investigar a aplicabilidade dos métodos de análise espacial e de classificação de imagem a outras características espaciais que as lacunas apresentam. Prevê-se a sua aplicação a um conjunto de pinturas pertencentes a uma colecção, a fim de fazer a apreciação dos índices de forma das lacunas, bem como a quantificação e apresentação de valores para a quantidade e qualidade do trabalho necessário para efectuar operações de reintegração cromática em cada obra, de forma discriminada.

Referências

- CHOU, Yue-Hon. *Exploring Spatial Analysis in Geographic Information Systems*. Albany, Nova Iorque: On World Press, 1997.
- ESRI, a. «Principal Components». In ArcGIS Help 9.3. 2008 [consulta: 30.12. 2009]. [HTTP://WEBHELP.ESRI.COM/ARCGISDESKTOP/9.3/INDEX.CFM?TOPICNAME=PRINCIPAL_COMPONENTS](http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.3/index.cfm?topicname=PRINCIPAL_COMPONENTS)
- ESRI, b. «MLClassify». In ArcGIS Help 9.3. 2008 [consulta: 30.12. 2009]. [HTTP://WEBHELP.ESRI.COM/ARCGISDESKTOP/9.3/INDEX.CFM?TOPICNAME=MLCLASSIFY](http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.3/index.cfm?topicname=MLCLASSIFY)
- ESRI, c. «Iso Cluster». In ArcGIS Help 9.3. 2008 [consulta: 30.12.2009]. [HTTP://WEBHELP.ESRI.COM/ARCGISDESKTOP/9.3/INDEX.CFM?TOPICNAME=WELCOME](http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.3/index.cfm?topicname=WELCOME)
- LILLESAND, Thomas; KIEFER, Ralph; CHIPMAN, Jonathan. *Remote Sensing and Image Interpretation*. 6.^a ed. Hoboken, New Jersey: John Wiley& Sons, 2008.
- MARK, Robert; BILLO, Evelyn. Computer-Assisted Photographic Documentation of Rock Art. In: *Coalition*, 11 (2006), pp. 10-14.

Agradecimentos

Artigo elaborado com o apoio do Programa Operacional Ciência e Inovação 2010 (POCI 2010), co-financiado pelo Governo Português e pela União Europeia, através do Fundo Europeu para o Desenvolvimento Regional (FEDER), da Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT). Bolsa de estudos SFRH / BD / 42488 / 2007. Agradece-se ainda ao Dr. José Mendes a disponibilização de imagens da intervenção de conservação e restauro.

Notas biográficas

Frederico Henriques - Conservador-restaurador, Doutorando em Conservação de Pintura, na Universidade Católica Portuguesa (UCP), em colaboração com o Dep. Eng. Civil e Arquitectura do Instituto Superior Técnico (IST). Investigador do Centro de Investigação de Ciências e Tecnologias das Artes (CITAR). FREDERICO.PAINTING.CONSERVATOR@GMAIL.COM

Alexandre Gonçalves - Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Civil e Arquitectura do Instituto Superior Técnico (IST). Doutorado em Engenharia do Território pelo IST. ALEXG@CIVIL.IST.UTL.PT