

Estudo e caracterização de cerâmicas arquitectónicas, argamassas e materiais pétreos

O contributo da Química

Ana Paula Carvalho
João Pires
António João Cruz
Lourdes Matias

Professor auxiliar, Departamento de Química e Bioquímica, e CQB, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa
Equiparado a professor-adjunto, Departamento de Art Conservação e Restauro, Instituto Politécnico de Tomar
Engenheira, Departamento de Química e Bioquímica, e CQB, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa

O estudo e a preservação do património cultural cada vez mais envolvem abordagens multidisciplinares em que participam historiadores, arquitectos, arqueólogos, conservadores, engenheiros, geólogos, biólogos, físicos e químicos. Pelo facto de estarem envolvidas áreas disciplinares muito diversas neste tipo de estudos geralmente surgem muitas dificuldades, sendo comum que quem se insere numa certa área naturalmente desconhece o vocabulário, as metodologias e as possibilidades das outras áreas, especialmente das que mais se afastam da sua. Pretendendo contribuir para a minimização dessas dificuldades e, portanto, com o objectivo de ajudar a proporcionar condições mais propícias ao desenvolvimento das abordagens multidisciplinares no contexto do estudo e da preservação do património arquitectónico, o presente texto pretende apresentar de uma forma muito simples alguns métodos de análise e caracterização de argamassas, cerâmicas arquitectónicas (designadamente, tijolos, ladrilhos e azulejos) e materiais pétreos e dar conta das informações que os mesmos podem proporcionar e do tipo de questões que se permitem abordar a respeito destes materiais.

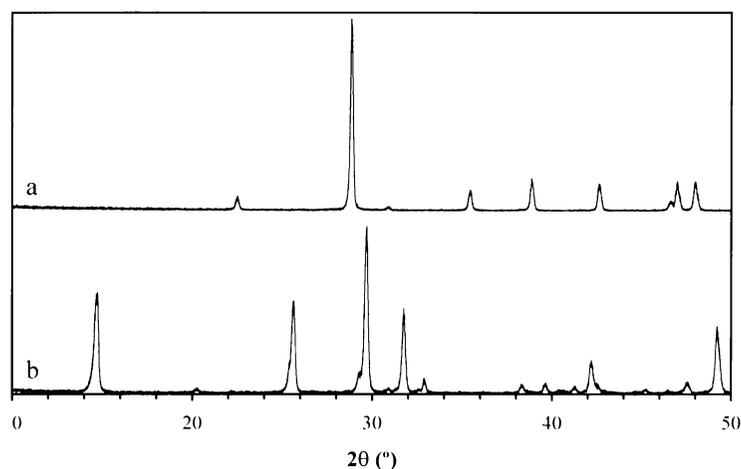
Identificação dos compostos cristalinos por difractometria de raios X

Os materiais abordados neste texto são constituídos, em grande parte, por compostos cristalinos, ou seja, compostos em que os diferentes elementos químicos se dispõem de uma forma regular no espaço e se apresentam na forma de cristais. Por isso, a caracterização de uma amostra geralmente começa com a identificação dos compostos cristalinos, também designados por minerais, o que geralmente é feito por difractometria

de raios X¹. O método, que se baseia na difracção dos raios X pelos cristais, dá origem a difractogramas, como os apresentados na Fig. 1 para a calcite e para o gesso, cada um dos quais é constituído por um conjunto de picos de difracção com posições características (medidas na escala horizontal) e intensidades relativas igualmente características (medidas na escala vertical). Como a cada composto cristalino corresponde um padrão de difracção diferente e característico, como se vê a propósito da calcite e do gesso, é possível fazer-se a identificação de um composto cristalino comparando o seu difractograma com os difractogramas de referência disponíveis na literatura. Considera-se que o composto está identificado quando o seu padrão de difracção, definido pelo conjunto de picos, coincide com um dos padrões de difracção do conjunto de referência.

No caso de as amostras a estudar serem formadas por misturas de vários compostos cristalinos, como geralmente acontece, a análise pode complicar-se, pois podem ocorrer sobreposições de alguns picos de diferentes constituintes. Nesta situação torna-se

1. Difractogramas de: a) calcite (carbonato de cálcio); b) gesso (sulfato de cálcio)



particularmente difícil a identificação dos componentes minoritários. No entanto, quando a identificação dos compostos cristalinos não coloca qualquer dúvida, é possível estimar-se a proporção em que os mesmos estão presentes numa amostra (semiquantificação).

A informação obtida por difractometria de raios X pode ser usada com diferentes objectivos. Pode ajudar a caracterizar de uma forma geral argamassas antigas (GENESTAR e PONS, 2003; MOROPOULOU *et al.*, 2000; SILVA, CANDEIAS *et al.*, 2005; SILVA, WENK *et al.*, 2005) ou materiais cerâmicos (CARVALHO *et al.*, 2006), por exemplo. Mas igualmente pode ser aproveitada para esclarecer questões mais específicas, como aconteceu num estudo dos tijolos dos edifícios históricos da cidade de Toledo (LÓPEZ-ARCE *et al.*, 2003). Pretendia-se estabelecer as condições experimentais que permitissem a obtenção de tijolos que, tanto do ponto de vista estético como das propriedades físico-químicas, reproduzissem os dos séculos XII, XIII e XIV. Para além das formulações, era importante determinar-se a temperatura de cozedura, pois este parâmetro reflecte-se quer na resistência mecânica dos materiais quer na cor. A difractometria de raios X permitiu estimar essa temperatura devido à diferente estabilidade térmica dos minerais identificados. Por exemplo, a presença de calcite ou de dolomite nas amostras implica temperaturas de cozedura dos tijolos seguramente inferiores a 800°C, uma vez que estes minerais não suportam esta temperatura, decompondo-se. Se, pelo contrário, a cozedura é feita a temperatura superior a 800°C, os difractogramas mostram a presença de gehlenite e de diópsido – minerais que se formam a partir dos produtos de decomposição da calcite e da dolomite, respectivamente.

Outro exemplo dos possíveis usos dos resultados obtidos por difractometria de raios X é proporcionado por um estudo que, com o objectivo de esclarecer dúvidas colocadas por historiadores, pretendia determinar se o Coliseu de Roma teria sido, ou não, palco de batalhas navais na época do imperador Tito (SILVA, WENK *et al.*, 2005). Os difractogramas obtidos para amostras de argamassas do coliseu mostraram-se muito diferentes dos difractogramas de amostras de outras argamassas romanas especialmente pensadas para resistirem à água, nomeadamente as usadas em

cisternas, que se caracterizam por um elevado teor de materiais designados por pozolânicos, responsáveis por essa resistência. A difractometria de difracção de raios X mostrou que estes materiais estão ausentes das argamassas do coliseu e, portanto, permitiu concluir que durante a construção do coliseu não foi previsto o uso de água no seu interior em actividades como as mencionadas.

Determinação da composição elementar por espectrometria de fluorescência de raios X

A espectrometria de fluorescência de raios X² é um método de análise química elementar, isto é, apenas fornece informação sobre os elementos químicos constituintes de um material e nada permite saber acerca da forma como esses elementos químicos se organizam em cristais ou outros compostos químicos. Deste ponto de vista é um método menos informativo do que a difracção de raios X, já que as propriedades de materiais como a pedra, as argamassas e as cerâmicas não derivam directamente dos elementos químicos, mas sim dos minerais. No entanto, é um método de análise muito usado no estudo do património devido a algumas vantagens que apresenta em relação a outros métodos. Nomeadamente, permite detectar com uma só análise os diferentes elementos químicos presentes no material (por isso é descrito como um método multielementar) e em determinadas circunstâncias permite quantificá-los; detecta elementos químicos presentes em concentrações muito reduzidas, envolve equipamento relativamente acessível e possibilita a análise directa das obras sem que haja necessidade de qualquer recolha de amostra, sendo por isso um método não invasivo. Devido a esta última vantagem, muito relevante no caso do património móvel, o espectrómetro de fluorescência de raios X já foi descrito como “o instrumento de sonho do conservador” (HANSON, 1973).

O método baseia-se no facto de a exposição de um material a raios X provocar a emissão de raios X pelos elementos químicos presentes no material. Esta radiação, dita de fluorescência, é registada num espectro como o da Fig. 2 e tem apenas determinados valores de energia, a que correspondem os picos no espectro, conforme os elementos químicos presentes no material. Assim, por comparação com tabelas, é possível proceder-

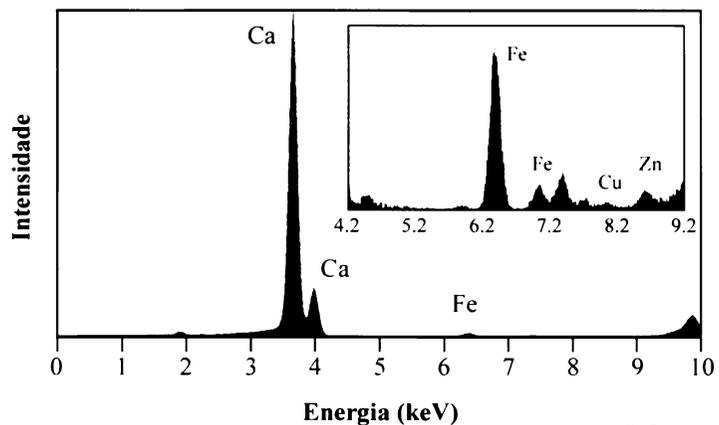
-se à identificação desses elementos. Por outro lado, a intensidade dos raios X emitidos com uma certa energia, ou seja a altura de um pico no espectro pode ser relacionada com a concentração do elemento responsável pela emissão.

A informação química de natureza elementar proporcionada pela espectrometria de fluorescência de raios X pode ajudar a quantificar os minerais constituintes de um material, mas é especialmente adequada e útil em situações em que interessa determinar a proveniência dos materiais. Isso deve-se ao facto de os minerais terem impurezas que dependem das condições geológicas em que se formaram e, portanto, as concentrações dos elementos químicos presentes em concentrações reduzidas (inferiores a 1%) estão relacionadas com a proveniência dos minerais. Por exemplo, as pedras provenientes de diferentes pedreiras têm diferentes padrões de impurezas (CULTRONE *et al.*, 2001; NASRAOUI *et al.*, 2002). Pelo contrário, se dois tijolos tiverem semelhantes teores de impurezas pode-se concluir que devem ter sido obtidos a partir de matérias-primas com a mesma proveniência e, possivelmente, têm a mesma cronologia (CALLIARI *et al.*, 2001). Esta possibilidade resulta de a composição elementar, pelo menos no que toca às impurezas, ser pouco afectada pela cozedura dos materiais cerâmicos, ao contrário da composição mineralógica, que, como se referiu, se altera de forma significativa durante esse processo.

Outra aplicação frequente da espectrometria de fluorescência de raios X é a que tem como objectivo a identificação dos pigmentos, os quais podem ser os responsáveis pela cor geral dada à argamassa ou à pedra, ou, no caso da pintura mural, podem fazer parte de uma outra obra à superfície da argamassa (FELICI *et al.*, 2004; SÁNCHEZ DEL RIO *et al.*, 2004).

Caracterização dos materiais por microscopia electrónica de varrimento

A informação obtida por espectrometria de fluorescência de raios X respeita a um volume de material que, geralmente, é da ordem de 10 mm³. No caso de materiais heterogéneos, isto significa que um espectro não corresponde a um só mineral, mas pode ter informação relativa a vários, dando conta, portanto,

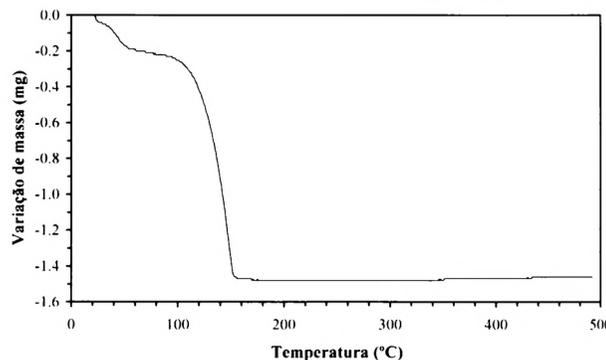
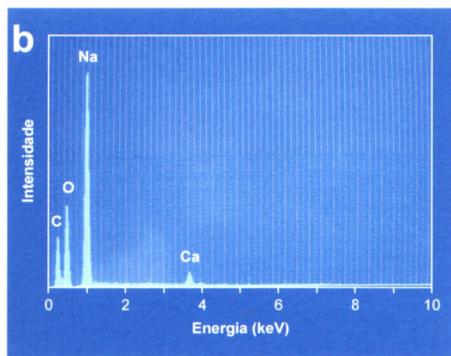


2. Espectro de fluorescência de raios X de uma amostra de calcário (cujo constituinte principal é a calcite, ou seja, carbonato de cálcio). Um pormenor do espectro está ampliado para melhor se visualizarem os picos, devido a alguns elementos minoritários. Espectro obtido por Fatima Araujo, ITN, a quem se agradece

de uma composição média. Nestas circunstâncias é difícil a interpretação da informação obtida porque não se sabe a concentração de cada elemento em cada um dos minerais. Este problema pode ser ultrapassado através do uso da espectrometria de raios X associada a um microscópio electrónico de varrimento³. Neste caso obtêm-se espectros semelhantes aos proporcionados pela espectrometria de fluorescência de raios X, mas com elevada resolução espacial. Além disso, a microscopia electrónica de varrimento permite observar os minerais com grande ampliação.

Um microscópio electrónico de varrimento é, antes de mais, um microscópio, ou seja, um equipamento que permite obter imagens ampliadas de uma amostra. Num microscópio óptico esta é iluminada com um feixe de luz, mas no microscópio electrónico de varrimento faz-se incidir sobre a amostra um feixe de electrões. Desta diferença resultam várias consequências, entre as quais a maior ampliação permitida pelo microscópio electrónico de varrimento e o maior detalhe por este proporcionado para idênticas ampliações (em parte devido a maior profundidade de campo). Por outro lado, o facto de ser usado um feixe de electrões, em vez de luz, leva a que as imagens não tenham cor. Como exemplo, na Fig. 3a apresenta-se a imagem obtida por microscopia electrónica de varrimento de uma amostra de uma argamassa, observando-se no meio da matriz de carbonato de cálcio um cristal de maiores dimensões correspondente a uma outra substância. A ampliação de 3000 vezes usada neste caso é inacessível a um microscópio óptico.

O feixe de electrões que está na origem da imagem origina no material observado fenómenos idênticos aos



3. Amostra de argamassa da Igreja da Misericórdia de Viana do Alentejo: a) imagem obtida por microscopia electrónica de varrimento; b) espectro de raios X obtido para o cristal no centro da imagem a (SILVA, CANDEIAS *et al.*, 2005). Reimpresso de *Conservar Património*. N.º 1. 2005, p. 30, com a autorização da ARP – Associação Profissional de Conservadores-Restauradores de Portugal e dos autores

4. Termograma de uma amostra de gesso

provocados por um feixe de raios X e, por isso, o microscópio electrónico de varrimento, se estiver equipado com um detector de raios X, permite simultaneamente obter espectros de natureza elemental semelhantes aos de fluorescência de raios X. A principal diferença reside no facto de o microscópio electrónico de varrimento possibilitar a obtenção de espectros de raios X para pequenas zonas do material, delimitadas na imagem observada, nomeadamente cristais isolados. Por exemplo, na Fig. 3b mostra-se o espectro de raios X obtido para o cristal no meio da imagem da Fig. 3a, que, ao dar conta da presença de sódio (Na), oxigénio (O) e carbono (C), permite concluir que o cristal é de carbonato de sódio (NaCO_3), sendo o pequeno pico do cálcio (Ca) devido ao carbonato de cálcio (CaCO_3) que rodeia aquele cristal.

Como exemplos de estudos em que a microscopia electrónica de varrimento teve um papel importante podem referir-se os de CASARINO e PITALUGA (2001), FRANZINI e colaboradores (2000), MALAGA-STARZEC e colaboradores (2003) e SILVA, CANDEIAS e colaboradores (2005).

Caracterização dos materiais por análise térmica

A análise térmica corresponde a um conjunto de métodos que envolvem o aquecimento controlado de uma pequena amostra e a medida de um parâmetro que vai variando durante o aquecimento. Como o comportamento térmico da amostra depende da sua composição, é possível obter-se assim algumas informações a esse respeito. Conforme a montagem experimental e o parâmetro monitorizado durante o aquecimento, tem-se a termogravimetria⁴, a análise térmica diferencial⁵, a calorimetria diferencial de varrimento⁶

e a análise termomecânica⁷, podendo-se consultar os detalhes, por exemplo, em WENDLANDT (1986).

Destes métodos, a termogravimetria é a que possivelmente tem sido mais usada na área do património arquitectónico. Neste caso mede-se a variação da massa da amostra em função da temperatura e o registo obtido designa-se por termograma (v. exemplo na Fig. 4). No caso das argamassas antigas de cal a reacção mais relevante durante o aquecimento é a decomposição do carbonato de cálcio (CaCO_3), que origina óxido de cálcio (CaO) e libertação de dióxido de carbono (CO_2), reacção esta que esquematicamente pode representar-se pela equação $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$ (LAMBERT, 1998). De acordo com esta equação, 1 g de CaCO_3 dá origem a 0,44 g de CO_2 gasoso, pelo que determinando-se a perda de massa que se verifica acima dos 600°C, temperatura a partir da qual ocorre a reacção, pode estimar-se a quantidade de CaCO_3 presente na amostra. No caso das argamassas de gesso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) a principal reacção, correspondente à desidratação, ou seja à perda de água, na forma de vapor, segundo a equação $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CaSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$, ocorre a temperatura de cerca de 200°C (Fig. 4). Portanto, um termograma permite facilmente distinguir uma argamassa de cal de uma argamassa de gesso e determinar a quantidade de cada um destes minerais nas amostras.

A termogravimetria permite igualmente avaliar o grau de hidraulicidade das argamassas, o qual depende da presença dos já mencionados materiais pozolânicos (MOROPOULOU *et al.*, 2000). Estes são, essencialmente, compostos de silício e alumínio que, a temperaturas entre 200°C e 600°C, sofrem alterações estruturais, designadamente reacções de desidroxilação, que são acompanhadas pela libertação de água na forma de

vapor. Assim, a perda de massa neste intervalo de temperatura é indicativa do teor de compostos pozo-lânicos presentes numa argamassa e, consequentemente, da sua hidraulicidade. No caso de argamassas hidráulicas, a perda de massa entre 200°C e 600°C corresponde, tipicamente, a mais de 3% da massa inicial da amostra.

As possibilidades da análise térmica não se esgotam aqui, podendo apontar-se como outros exemplos na área do património os trabalhos de BISCONTI *et al.* (2002) e BRUNI *et al.* (1998).

Caracterização da textura e da porosidade através da área superficial específica

A área superficial específica de um sólido, ou seja, a área de 1 g de sólido é uma grandeza que está relacionada com a maior ou menor rugosidade da sua superfície e com a sua porosidade. No caso ideal de uma esfera completamente "polida" a área superficial específica é igual à área geométrica da superfície da esfera. À medida que aumenta a rugosidade ou a porosidade naturalmente aumenta o valor da área superficial específica. Esta área pode ser determinada por adsorção de azoto à sua temperatura de ebulição (-196°C) fazendo uso do modelo físico desenvolvido por BRUNNAUER, EMMET e TELLER (BRUNAUER *et al.*, 1938), razão pela qual a área específica obtida desta forma é referida como área BET ou, abreviadamente, A_{BET} .

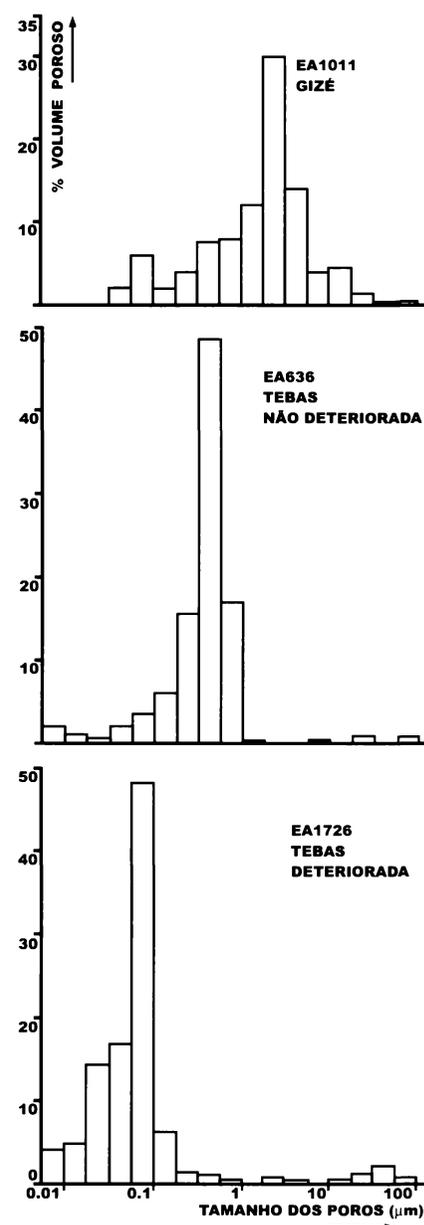
Grandezas como a A_{BET} e outras que também se podem obter da adsorção de azoto a -196°C, como a distribuição de tamanhos de poros, têm tido relativamente pouco uso em estudos relacionados com a conservação do património, não obstante o importante efeito da estrutura porosa nalgumas propriedades dos materiais (CARVALHO, 2005). Por exemplo, vários processos de degradação de materiais originam o desenvolvimento da rugosidade e da porosidade da superfície e, consequentemente, traduzem-se pela variação da área superficial específica. Como exemplo de estudos pode referir-se o efectuado por (MALAGA-STARZEC *et al.*, 2002), em que foi comparado o comportamento de dois tipos de mármore, calcítico e dolomítico, face às variações de temperatura ao longo do ano. Verificou-se que A_{BET} varia de forma diferente para cada um dos mármore, sendo os valores mais

constantes para o mármore dolomítico.

A adsorção de azoto também pode fornecer dados fundamentais para a recuperação de azulejos antigos, em virtude de permitir ter em conta as alterações da porosidade do corpo cerâmico, que frequentemente resultam das intervenções de conservação, as quais têm consequências no seu comportamento futuro. Com efeito, quando é realizada a consolidação de um azulejo, o interior geralmente é impregnado com um material polimérico que provoca uma significativa diminuição da porosidade da cerâmica e, consequentemente, um aumento da resistência do azulejo à infiltração de água (CARROTT *et al.*, 1997).

Caracterização da porosidade por porosimetria de mercúrio

Outro método que tem sido usado para a caracterização da porosidade dos materiais é a porosimetria de mercúrio. Baseia-se no facto de o mercúrio só penetrar nos poros se for sujeito a uma pressão que varia com a dimensão destes. Medindo-se a pressão aplicada e o volume de mercúrio, para uma dada amostra, é possível obter-se a distribuição de tamanhos de poros com aberturas superiores a 50 nm de diâmetro, ou seja, 0,00005 mm. Este tipo de informação foi usado por BRADLEY e MIDDLETON (1988) num estudo sobre a proveniência e o estado de degradação de amostras de calcários de diferentes locais arqueológicos do Egipto. Um exemplo das distribuições de tamanhos de poros obtidas por estes autores é apresentado na Fig. 5, que mostra o efeito que nessa distribuição têm a proveniência das amostras (Gizé ou Tebas) e o seu estado de deterioração (no caso de amostras de Tebas).



5. Distribuições de tamanhos de poros de amostras provenientes de diferentes locais arqueológicos egípcios: a) amostra de Gizé; b) e c) amostra de Tebas, apresentando esta última o maior grau de deterioração (BRADLEY e MIDDLETON, 1988). Reimpresso do *Journal of the American Institute for Conservation* com a permissão do American Institute for Conservation of Historic & Artistic Works, 1717 K St., NW, Suite 200, Washington, D. C. 2006 (USA); info@aic-faic.org; www.aic-faic.org

Conclusão

Os métodos referidos são apenas alguns dos métodos laboratoriais a que se tem recorrido no âmbito do estudo e caracterização do património arquitectónico. O espaço disponível, porém, não permite apresentar outros métodos que igualmente têm sido usados – ou podem vir a ser usados – os quais, nalguns casos, podem inclusivamente revelar-se mais úteis ou vantajosos do que os mencionados (alguns são apresentados, por exemplo, por CILIBERTO e SPOTO, 2000). Além disso, importa referir que em qualquer estudo geralmente é empregue mais do que um método. Da mesma forma que a abordagem multidisciplinar, por causa dos diferentes pontos de vista envolvidos, pode proporcionar uma visão mais completa e detalhada de um certo assunto, a diferente informação

obtida por cada um dos métodos, sendo igualmente complementar, permite uma mais completa caracterização dos materiais, facilita a interpretação dos resultados experimentais e confere maior suporte às conclusões obtidas.

Finalmente, não obstante a organização deste texto em função dos métodos laboratoriais, deve-se notar que estes apenas são meros instrumentos usados na procura de respostas para as dúvidas colocadas por quem directamente intervém no património e tenta dar-lhe um sentido, designadamente historiadores, arquitectos, arqueólogos e conservadores. As dúvidas e as perguntas a que estas devem dar origem são centrais em qualquer estudo, muito especialmente quando estão envolvidas diferentes disciplinas como acontece a respeito do estudo e preservação do património.

¹ Na literatura de língua inglesa, geralmente emprega-se a sigla XRD, de *X-ray diffractometry*. Em português usa-se a sigla DRX.

² Em inglês é designada por “X-ray fluorescence spectrometry” ou “XRF spectrometry”. EDXRF e WDXRF são acrónimos relacionados com dois tipos de equipamentos diferentes. Em português usa-se, por vezes, FRX em vez de XRF.

³ A microscopia electrónica de varrimento em inglês é designada por “scanning electron microscopy”, a que corresponde a sigla SEM, e a espectrometria de raios X associada a um microscópio electrónico de varrimento é referida, entre outras variantes, como “scanning electron microscopy with energy dispersive X-ray spectrometry” ou pelas siglas SEM-EDS, SEM-EDX ou SEM-EDAX. Em português, usa-se a sigla MEV.

⁴ Na bibliografia de língua inglesa é designada por “thermogravimetry” ou, abreviadamente, por TG.

⁵ O mesmo que “differential thermal analysis” ou DTA.

⁶ Em inglês, “differential scanning calorimetry” ou DSC.

⁷ Ou seja, “thermomechanical analysis” ou TMA.

Bibliografia

- BISCONTIN, Guido; BIRELLI, Marta; ZENDRI, Elisabetta – Characterization of binders employed in the manufacture of Venetian historical mortars. In *Journal of Cultural Heritage*. Amsterdam. 3:1. 2002, pp. 31-37.
- BRADLEY, Susan; MIDDLETON, Andrew – A study of the deterioration of Egyptian limestone sculpture. In *Journal of the American Institute of Conservation*. Washington: 27:2. 1988, pp. 64-86.
- BRUNAUER, Stephen; EMMETT, Paul; TELLER, Edward – Adsorption of gases in multimolecular layers. In *Journal of the American Chemical Society*. Washington: 60:2. 1938, pp. 309-319.
- BRUNI, Silvia; CARIATI, Franco; FERMO, Paola; POZZI, Andrea; TONIOLO, Lucia – Characterization of ancient mortars coming from northern Italy. In *Thermochimica Acta*. Amsterdam: 321:1-2, 1998, pp. 161-165.
- CALLIARI, Irene; CANAL, Ernesto; CAVAZZONI, Silvia; LAZZARINI, Lorenzo – Roman bricks from the Lagoon of Venice: a chemical characterization with methods of multivariate analysis. In *Journal of Cultural Heritage*. Amsterdam: 2:1. 2001, pp. 23-29.
- CARROTT, Manuela; ANTUNES, João; CARROTT, Peter – Evaluation of the porosity of ornamental glazed tiles by nitrogen adsorption. In *Proceedings of the IVth International Symposium on the Conservation of Monuments in the Mediterranean Basin*. Atenas: A. Moropolou et al. eds. Vol. 3. 1997, pp. 79-87.
- CARVALHO, Ana; VAZ, Fátima; SAMORA, Maria; PIRES, João – Characterisation of ceramic pastes of Portuguese ancient tiles. In *Materials Science Forum*. Uetikon-Zuerich. 514-516. 2006, pp. 1648-1652.
- CARVALHO, Manuela – Notas sobre caracterização da estrutura porosa de materiais. In *Conservar Património*. Lisboa. 2. 2005, pp. 55-57.
- CASARINO, Alessandra; PITTALUGA, Daniela – An analysis of building methods: chemical-physical and archaeological analyses of micro-layer coatings on medieval facades in the centre of Genoa. In *Journal of Cultural Heritage*. Amsterdam: 2:4. 2001, pp. 259-275.
- CILIBERTO, E.; SPOTO, G. (eds.) – *Modern Analytical Methods in Art and Archaeology*. New York: John Wiley & Sons, Inc. 2000.
- CULTRONE, Giuseppe; BARONE, Germana; GANGEMI, Giuseppe; IOPPOLO, Salvator – Analysis of lapideus materials from the columns of the cathedral of St Maria in Randazzo (Catania, Italy) and from their ancient origin quarries. In *Journal of Cultural Heritage*. Amsterdam: 2:3. 2001, pp. 199-207.
- FELICI, Anna; FRONTEROTTA, Gabriele; PIACENTINI, Mario; NICOLAIS, Chiara; SCIUTI, Sebastiano; VENDITTELLI, Margherita; VAZIO, Cristina – The wall

- paintings in the former Refectory of the Trinita dei Monti convent in Rome: relating observations from restoration and archaeometric analyses to Andrea Pozzo's own treatise on the art of mural painting. In *Journal of Cultural Heritage*. Amsterdam: 5:1. 2004, pp. 17-25.
- FRANZINI, Marco; LEONI, Leonardo; LEZZERINI, Marco – A procedure for determining the chemical composition of binder and aggregate in ancient mortars: its application to mortars from some medieval building in Pisa. In *Journal of Cultural Heritage*. Amsterdam: 1:4. 2000, pp. 365-373.
- GENESTAR, Catalina; PONS, Carmen – Ancient covering plaster mortars from several convents and Islamic and Gothic palaces in Palma de Mallorca (Spain). Analytical characterisation. In *Journal of Cultural Heritage*. Amsterdam: 4:4. 2003, pp. 291-298.
- HANSON, Victor – The curator's dream instrument. in W. J. Young (ed.). In *Applications of science in examination of works of art: proceedings of the seminar: June 15-19, 1970*. Boston: Museum of Fine Arts. 1973, pp. 18-30.
- LAMBERT, Joseph – *Traces of the Past: Unraveling the Secrets of Archaeology through Chemistry*. Cambridge: Perseus Books. 1998.
- LÓPEZ-ARCE, Paula; GARCIA-GUINEA, Javier; GARCIA, Mercedes; OBIS, Joaquín – Bricks in historical buildings of Toledo city: characterisation and restoration. In *Materials Characterization*. Amsterdam: 50. 2003, pp. 59-68.
- MALAGA-STARZEC, Katarina; LINDQVIST, Jan; SCHOUENBORG, Björn – Experimental study on the variation in porosity of marble as a function of temperature. In *Geological Society Special Publication*. London. 2005-2002. pp. 305-308.
- MALAGA-STARZEC, Katarina; PANAS, Itai; LINDQVIST, Jan; LINDQVIST, Olivier – Efflorescence on thin sections of calcareous stones. *Journal of Cultural Heritage*. Amsterdam. 4:4. 2003, pp. 313-318.
- MOROPOULOU, Antonia; BAKOLAS, Asterios; BISBIKOU, Katerina – Investigations of the technology of historic mortars. *Journal of Cultural Heritage*. Amsterdam. 1:1. 2000, pp. 45-58.
- NASRAOUI, Mohamed; WAERENBORGH, João; PRUDENCIO, Maria; BILAL, Essaid – Typology of the granitic stones of the cathedral of Évora (Portugal): A combined contribution of geochemistry and Fe-57 Mossbauer spectroscopy. In *Journal of Cultural Heritage*. Amsterdam. 3:2. 2002, pp. 127-132.
- SÁNCHEZ DEL RIO, Manuel.; MARTINETTO, P.; SOMOGYI, A.; REYES-VALERIO, Constantino; DOORYHEE, Eric; PELTIER, N.; ALIANELLI, L.; MOIGNARD, B.; PICHON, L.; CALLIGARO, T.; DRAN, J.C. – Microanalysis study of archaeological mural samples containing Maya blue pigment. In *Spectrochimica Acta Part B*. Amsterdam. 59:10-11. 2004, pp. 1619-1625.
- SILVA, António; CANDEIAS, António; PAIS, Ana; NOGUEIRA, Pedro – Caracterização de argamassas do conjunto monumental do castelo de Viana do Alentejo. In *Conservar Património*. Lisboa. 1. 2005, pp. 21-32.
- SILVA, Denise; WENK, Hans-Rudolf; MONTEIRO, Paulo – Comparative investigation of mortars from Roman Colosseum and cistern. In *Thermochemica Acta*. Amsterdam. 438. 2005, pp. 35-40.
- WENDLANDT, Wesley – *Thermal Analysis*. New York: John Wiley & Sons. 1986.