

Dados geológicos em ciências forenses

Alexandra Guedes¹ e Bruno Valentim²

Resumo: A Geologia Forense está relacionada com a aplicação directa dos princípios, práticas e procedimentos geológicos na resolução de problemas e questões de tribunal. A aplicação mais reconhecida da geologia forense é a utilização de materiais geológicos como provas, com importante valor na associação de um suspeito a uma cena de um crime.

Assim, rochas, minerais, solos e materiais relacionados são muito utilizados na investigação forense uma vez que possuem elevado valor probatório. Este valor está associado à existência de um número quase ilimitado destes materiais e como eles se encontram distribuídos na Terra. E, é esta diversidade de materiais geológicos que, quando combinada com a capacidade de observar e caracterizar os diferentes tipos, fornece o poder legal da sua discriminação. Adicionalmente, o valor probatório aumenta quando nele são encontrados partículas, minerais, rochas, ou fósseis raros ou pouco comuns. Por estes motivos, a probabilidade de uma determinada amostra ter propriedades semelhantes a outras provenientes de outros locais é muito pequena.

Deste modo, vários métodos geológicos têm vindo a ser utilizados fornecendo dados úteis na discriminação entre geomateriais. Contudo, esses métodos devem ser cuidadosamente seleccionados, devendo ser utilizados métodos normalizadas de análise, de elevada reprodutibilidade, de preferência não destrutivos e sempre que possível independentes. Finalmente, devem ser válidos (i.e. aceites em tribunal) e realizados por especialistas.

Palavras-chave: Materiais geológicos, Valor probatório, Métodos analíticos.

Abstract: Forensic Geology is related to the application of the principles, practices and geological procedures in solving problems and issues of court of law. The use of geological materials as evidence is well-recognized amongst police forces and forensic scientists, with significant evidential value in linking a suspect to a crime scene.

Therefore, rocks, minerals, soils and related materials are widely used in forensics since they are of highly evidential value. This value is associated with the existence of an almost unlimited number of these materials and how they are distributed on Earth. It is this diversity of geological materials, when combined with the ability to observe and characterize the different types that provides the legal power of their discrimination. Additionally, the evidential value increases when rare or unusual minerals, rocks, fossils, or particles, are found. For these reasons, the probability that a given sample will have properties similar to any other samples from other locations is very small.

Thus, various geological methods have been used providing useful data to the discrimination of geological materials. However, the methods must be carefully selected, and standardised analytical methods, of high reproducibility, preferably non-destructive and independent, should be used. Finally, they must be valid and carried out by an expert.

Keywords: Geological materials, Evidential value, Analytical methods.

¹Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto e Centro de Geologia da Universidade do Porto.

²Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto e Centro de Geologia da Universidade do Porto.

1. Introdução

A Geologia Forense está relacionada com a aplicação dos princípios, práticas e procedimentos geológicos na resolução de problemas e questões de Tribunal. Este ramo da Geologia baseia-se no “Princípio da transferência”, estabelecido pelo criminalista Francês Edmond Locard (1877-1966), “sempre que dois objetos se tocam, existe uma transferência de materiais entre eles”.

O que quer que as pessoas toquem e tudo o que as toca deixa um “rastros”. Se identificarmos esse rastro, podemos concluir onde uma pessoa foi e, até mesmo, colocar essa pessoa num determinado local. Assim, os geólogos forenses não se interessam apenas por rochas, minerais, fósseis e sedimentos mas também por solos, vidro, escórias e outros materiais sintéticos ou objetos que se foram incorporando no solo. Estes recolhem amostras dos materiais geológicos (ou outros) que foram transferidos entre os objetos e analisam-nas para os identificarem.

Para além da identificação de materiais, o geólogo forense interessa-se, em particular, pela determinação da origem dos materiais, uma tarefa que exige um amplo conhecimento da geologia e excelente conhecimento de mapas de solos e mapas geológicos, assim como de processos de transformação e conversão de materiais. Por exemplo:

(i) se o solo retirado de um corpo não coincide com o solo do local onde o corpo for encontrado, o geólogo sugere locais que possam corresponder ao solo encontrado no corpo; ou,

(ii) o geólogo também pode comparar amostras, amostras associadas ao suspeito e as outras recolhidas no local do crime, para ver se têm uma origem comum, i.e. “*O solo no sapato do suspeito tem características semelhantes ao tipo de solo colhido no local do crime?*”

Finalmente, apresentam os resultados como prova em qualquer processo legal civil ou penal.

Um novo desenvolvimento da Geologia Forense consiste na sua utilização em trabalhos de busca. Uma pessoa, por exemplo, pode afirmar que nunca foi a um dado local, mas se depois for encontrada com material geológico desse local fica associada a uma localização geográfica específica.

Com algumas exceções, onde as provas geológicas são especialmente fortes, estas, como todos os tipos de provas, raramente fornecem uma solução verdadeiramente única para que a mente do geólogo não possa imaginar outra possibilidade, sobretudo quando pode comparar amostras.

Mas o que significa a palavra “*comparar*” para o geólogo forense? Esta palavra é muito frequente no âmbito das ciências forenses: “*amostras de solo do sapato do suspeito são comparáveis com amostras de solos do local do crime*”, “*a rocha encontrada no local do crime é comparável com as rochas de uma pedreira*”. Se examinarmos o significado desta palavra, desde logo devemos-nos lembrar que não há dois objetos que, teoricamente, possam ser iguais. Também é verdade que, em sentido absoluto, não pode ser dito que uma amostra de solo ou qualquer outro material geológico tenha origem num único lugar, pois mesmo quando duas amostras são idênticas há sempre a possibilidade de material semelhante existir noutra local.

Porém, a maioria dos exames do solo para fins forenses envolve comparação para estabelecer a probabilidade de uma amostra ser proveniente de um único lugar. Na prática, para determinar se as amostras de solo são comparáveis, o geólogo forense procura as partículas

raras ou pouco comuns nas amostras, de modo que o valor da prova depende de quantos tipos diferentes desse material existem. Aumenta, assim, o poder discriminatório desse material e, conseqüentemente, o valor probatório.

2. Breve história da Geologia Forense

A História da Geologia Forense contém registros do uso da observação de rochas e minerais na resolução de problemas forenses. No entanto, a aplicação formal da geologia e ciência dos solos na investigação criminal teve de esperar por desenvolvimentos tecnológicos nos laboratórios de investigação criminal, bem como pela aceitação e formação dos investigadores sobre a utilidade desses materiais. Desde o final do século XIX, a geologia forense tem sido amplamente aplicada e evoluiu para um nível elevado de sofisticação e qualidade, tornando-a uma ferramenta aceita e frequentemente utilizada no atual sistema de justiça. E, hoje em dia, o uso dos materiais geológicos, tanto em matérias penais como civis, auxilia nas investigações servindo como prova em processos judiciais.

Como já se referiu, a aplicação mais reconhecida na geologia forense é a utilização de materiais geológicos como provas, com importante valor na associação/eliminação de um suspeito a um local de um crime, sendo considerados como os materiais mais importantes, na generalidade da literatura forense, fragmentos de rocha, minerais, poeiras, sedimentos e solos.

Porém, apesar do contributo, nas investigações criminais, do estudo destes materiais ser já reconhecido há muito como provas forenses, o seu verdadeiro potencial só agora começa a ser, efetivamente, reconhecido. De facto, só em 1975 é que foi publicado por Murray e Tedrow o primeiro livro sobre Geologia Forense, posteriormente reeditado em 1992. Neste livro, debatia-se, para além da documentação e os princípios, o sucesso da investigação geoforense nos diferentes casos estudados.

No seguimento deste livro foram estabelecidos alguns princípios para a amostragem, estudo, avaliação das provas e do modo de apresentação das conclusões em tribunal e, a partir dos anos 90, o verdadeiro potencial das provas geológicas começou a ser reconhecido pelas forças policiais e cientistas forenses a nível mundial.

Entretanto, mais recentemente têm sido editados vários livros nas principais editoras científicas internacionais: Murray (2004, 2011) fornece um resumo histórico bem como uma visão geral do tema; Croft e Pye (2004) e Pye (2007) ilustram alguns dos princípios, técnicas e aplicações correntes na investigação em Geologia Forense; a evolução histórica no contexto moderno acerca do modo como os métodos geológicos e técnicas têm sido utilizadas como ferramentas para auxílio à investigação forense estão compilados em Ruffell e Mckinley (2008), Ritz *et al.* (2009) e Bergslien (2012).

3. Exemplos de algumas propriedades relevantes nos materiais geoforenses

O geólogo forense utiliza vários métodos e procedimentos analíticos para estudar rochas, minerais, solos e materiais relacionados. Esses métodos devem ser cuidadosamente selecionados, devendo ser utilizados métodos normalizados de análise, de elevada reprodutibilidade, de preferência não destrutivos e sempre que possível independentes e válidos (aceites em tribunal). De entre as diversas propriedades dos materiais as mais

comumente estudadas são aquelas cuja análise obedece aos critérios atrás mencionados e que incluem, entre outras, a cor, a distribuição granulométrica, e a mineralogia. A partir da utilização destes métodos analíticos são obtidos dados que por sua vez permitem avaliar se as amostras são comparáveis. Porém, os dados obtidos devem ser analisados em detalhe para se poder concluir sobre o grau de confiança da análise.

3.1. A Cor

De entre os vários métodos analíticos disponíveis, a análise da cor é um dos principais métodos utilizados na investigação forense de materiais geológicos. Na maioria destes materiais, nomeadamente nos solos, são os minerais nativos os que contribuem diretamente para a cor. Isto é particularmente verdadeiro nos depósitos de corrente, partículas de silte transportadas pelo vento, e outras situações sedimentares que se formam por um período relativamente curto de tempo.

Todavia, após um longo de um período de erosão, que resulta na lixiviação, ou após a circulação e acumulação de substâncias no solo, as partículas de solo ficam revestidas e impregnadas com substâncias minerais e orgânicas, dando ao solo uma aparência diferente da que tinha anteriormente. Por exemplo, os grãos minerais de maior dimensão ficam revestidos com ferro, alumínio, matéria orgânica e argilas; podendo a cor destes revestimentos fornecer as pistas sobre a história de uma amostra (Murray 2011).

No caso dos solos, contudo, a cor resulta da mistura dos seus constituintes e do teor de humidade. Assim, a partir apenas da observação direta da cor de um solo podem-se obter indicadores ou mesmo evidências conclusivas, sem que sejam necessários estudos mais complexos, por exemplo:

- (i) a cor vermelha num solo (avermelhado) é um indicador da presença de óxidos de ferro e depende da quantidade de ferro presente e do estado de oxidação deste;
- (ii) a cor negra num solo (preto) pode resultar da presença de manganês ou de combinações de ferro e manganês, mas também pode indicar a presença de matéria orgânica;
- (iii) a cor verde num solo (esverdeado) pode resultar da presença de minerais de cobre, clorite, e glauconite;
- (iv) a cor azul num solo (azulado) pode resultar da presença de vivianite;
- (v) um solo mais escuro pode estar relacionado com a existência de humidade (Sugita e Marumo 1996, Croft e Pye 2004, Murray 2011).

No quotidiano, a cor é descrita de modo simples e usam-se adjetivos para a caracterizar como brilhante, esbatida, pálida, escura, clara, entre outras. Porém, para a determinação da cor como característica que define o material que se está a analisar, é necessário considerar uma variedade de fatores que podem afetar a sua perceção. Estes incluem as fontes de luz, a direção do ângulo de visão, efeitos de fundo e de contraste, tamanho do grão, compactação e a natureza cristalina do material considerado, assim como o teor de humidade e a temperatura (Johnston 1967, Thornton 1997).

A determinação da cor nos solos para fins tecnológicos ou científicos (engenharia eléctrica, agronomia, pedologia) pode ser feita com recurso à Tabela de Cores de Munsell (uma tabela que ilustra o sistema de cores criado pelo professor Albert H. Munsell na primeira década do século XX) ou a métodos instrumentais.

Porém, o método da utilização da Tabela de Cores de Munsell é um método qualitativo que

depende da percepção visual (i.e. da capacidade de diferenciar as cores) e da experiência do observador, sendo por isso um método subjectivo. Enquanto a determinação instrumental da cor fornece informações quantitativas que podem ser efectuadas com uma precisão que excede o olho humano.

Atualmente, a determinação instrumental da cor é efectuada com recurso à utilização de um espectrofotómetro, o que permite uma medição mais precisa e objectiva da cor. Este é também o equipamento mais indicado para a análise de cores complexas uma vez que permite determinar a refletância espectral em cada comprimento de onda. No que respeita à medição da cor nos solos para fins forenses, este equipamento tem inúmeras vantagens pois necessita apenas de uma pequena quantidade de amostra, é uma técnica não destrutiva, possui grande rapidez analítica, portabilidade, precisão e reprodutibilidade de análise (Croft e Pye 2004, Guedes *et al.* 2009), o que faz com que a cor medida seja um dado potencialmente poderoso para a discriminação de materiais geológicos para aplicação forense.

Por exemplo, na análise quantitativa da cor de amostras de sedimentos da costa portuguesa para aplicação forense, a utilização de um espectrofotómetro permitiu a obtenção de uma análise precisa da cor das amostras estudadas e também avaliar estatisticamente a capacidade de discriminação dos diferentes métodos de pré-tratamento das amostras analisadas. Adicionalmente, nas amostras de sedimentos, colhidas na costa norte (Entre Douro e Minho) e na costa sul de Portugal (Algarve), foram observadas variações de cor entre os diferentes tratamentos da amostra tendo os valores de $L^*a^*b^*$ [parâmetros do sistema de cores CIE 1976 (L^* , a^* , b^*) color space (ou CIELAB)] medidos nas amostras tal e qual permitido uma maior discriminação dos locais amostrados do que nas medidas executadas nas diferentes fracções granulométricas testadas e nas amostras queimadas (Guedes *et al.* 2009) (Figura 1).

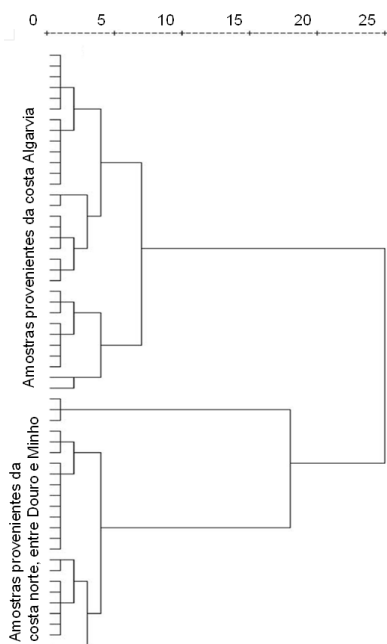


Figura 1. Análise de “clusters” com os valores $L^*a^*b^*$ medidos em amostras de sedimentos tal e qual (adaptado de Guedes *et al.* 2009).

Figure 1. Cluster analysis with $L^*a^*b^*$ values obtained on dried, unsieved bulk samples (adapted from Guedes *et al.* 2009).

3.2. A Distribuição granulométrica

Numa investigação forense, a determinação da distribuição granulométrica numa amostra pode aumentar o valor probatório da mesma, uma vez que muitas vezes as amostras que estão a ser comparadas são semelhantes. As amostras de controlo (amostras colhidas em localizações geográficas conhecidas num determinado tempo e data e que podem estar relacionadas com localizações de crimes ou álibis sugeridos pelo advogado de defesa) podem conter partículas de dimensão superior ou inferior que não se encontram presentes na amostra alvo (amostra obtida no suspeito ao tempo e na cena de um crime) e em que as mesmas partículas são removidas.

Para efectuar estudos mineralógicos e de cor, o geólogo forense divide frequentemente a amostra em diferentes fracções granulométricas (Murray 2011). Por último a distribuição granulométrica de uma amostra pode ser utilizada na comparação das amostras de um solo e fornecer pistas sobre a natureza e proveniência das amostras de solo (Chazottes *et al.* 2004, Saye e Pye 2004), nomeadamente na discriminação entre sedimentos provenientes de dunas e de praias (Figura 2). No entanto, há questões importantes a ter em mente, tais como os fatores que podem influenciar a distribuição granulométrica e que incluem: a possibilidade de mistura (pré e pós-evento), diferente capacidade de transferência e a persistência e degradação dos vários grãos (Morgan e Bull 2007, Dawson e Hillier 2010).

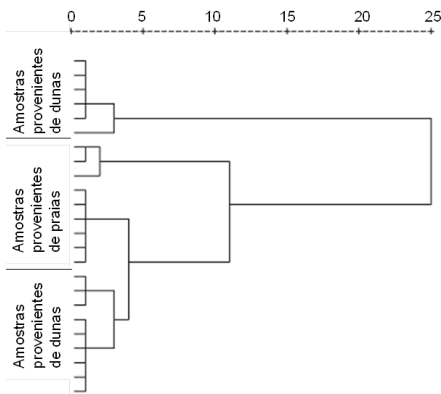


Figura 2. Análise de “clusters” com os parâmetros de distribuição granulométrica obtidos em amostras de sedimentos de duna e de praia (adaptado de Guedes *et al.* 2013).

Figure 2. Cluster analysis with particle size distribution indices obtained on dune and beach samples (adapted from Guedes *et al.* 2013).

Em estudos de agronomia, pedologia ou geologia sedimentar a quantidade de amostra não constitui, em regra, um problema, de modo que é vulgar e prático o recurso a peneiros para determinar a distribuição granulométrica de uma amostra. Porém, na generalidade das investigações forenses a quantidade de amostra disponível é geralmente muito pequena, pelo que é conveniente a utilização de um método não-destrutivo, de alta resolução na determinação da distribuição granulométrica, vulgarmente conhecido como a granulometria laser.

A granulometria laser permite analisar uma variedade de tipos de amostras, incluindo os solos, sedimentos não consolidados, poeiras, pós e outras partículas geológicas. Para além disto, esta técnica determina dimensões de grãos numa gama que vai desde 0,02 μm até 2000 μm , em

amostras de apenas 50 mg (Pye e Blott 2004). No entanto, na utilização deste método, uma vez que é necessário um meio de dispersão, todas as amostras devem ser previamente tratadas de igual modo (Murray 2011).

3.3. A Mineralogia

Grande parte do valor probatório dos materiais geológicos baseia-se na diversidade e nas diferenças entre os minerais e as partículas, sendo o exame microscópico dos minerais, a todos os níveis de instrumentação, a ferramenta mais poderosa na geologia forense. Entre outras vantagens, o exame mineralógico fornece uma oportunidade para observar as denominadas partículas raras/pouco comuns (“exotic”, “unusual”, dos autores de língua inglesa) que aumentam consideravelmente o valor probatório e fornecem um elevado poder discriminatório ao material alvo de investigação (Sugita e Marumo 2004).

3.4. Preparação das amostras

Para o estudo de minerais e rochas a amostra deve ser limpa e por vezes peneirada para remover as partículas de maiores dimensões e os fragmentos orgânicos. Se a amostra for lavada em água, as partículas orgânicas menos densas flutuam, podendo ser removidas e guardadas para estudos posteriores, já o tratamento com peróxido de hidrogénio elimina o material orgânico fino. Quanto à utilização de ultra-sons, como técnica de limpeza das amostras, esta não é aconselhada na limpeza da amostra uma vez que a pode modificar ou mesmo danificar.

Se o objectivo da análise é a identificação de minerais pesados, então, é importante a separação da amostra em diferentes fracções granulométricas para depois se proceder à sua concentração, assim é habitual fazer-se a separação densimétrica da fracção entre 0,5 e 0,1 mm tal como definido em Murray (2011), no entanto outras fracções também têm vindo a ser utilizadas (Isphording 2007, Palenik 2007).

Uma vez que a quantidade de amostra disponível numa investigação forense é, em regra, extremamente pequena, o material e os protocolos utilizados na separação granulométrica e densimétrica são distintos dos tradicionalmente utilizados na separação de amostras para estudos geológicos. Exemplo de protocolos desenvolvidos para a caracterização de amostras forenses encontram-se descritos em Palenik (2007). O mesmo autor refere o seguinte: “se o objectivo do exame forense é a determinação de uma possível origem geográfica para a amostra, é quase sempre necessário a identificação de todos os minerais pesados presentes”; e, aconselha a para a sua identificação os livros e atlas, nomeadamente os de Krumbein e Pettijohn (1938), Hutton (1950), Mange e Maurer (1992) e Milner (1962).

3.5. Técnicas analíticas

Para além das técnicas já mencionadas, são várias as técnicas analíticas utilizadas em Geologia forense. Contudo, as técnicas de “visualização” e caracterização através de métodos óticos e electrónicos são commumente utilizadas e técnicas avançadas como a microssonda e a espectroscopia Raman também já são utilizadas.

Um método de exame mineralógico ótico consiste na utilização da lupa binocular. Esta é uma técnica pouco dispendiosa e prática (mas que ainda assim requer elevado nível de perí-

cia) que permite identificar a textura e as incrustações na superfície das partículas e ainda propriedades como a forma, arredondamento, alteração, inclusões, cor e polimento dos grãos. O resultado pode ser, então, expresso de forma qualitativa por identificação das partículas presentes ou quantitativa, i.e. através do número de um determinado conjunto de partículas ou da percentagem dos diferentes tipos de partículas encontrados.

Todavia, na contagem dos diferentes tipos de grãos identificados é muito importante que a amostra seja representativa e que a identificação seja precisa e consistente, mas também que o método de contagem utilizado só permita que uma partícula só seja contada uma vez durante a análise. Por exemplo, isso poderá ser evitado alinhando as partículas e colando-as com fita-cola de dupla face para que não se movam ou, então, removendo-as à medida que são contadas.

Apesar da técnica da lupa binocular apresentar muitas vantagens é uma técnica limitada e difícil no que respeita à identificação dos minerais, pelo que o estudo ao microscópio das amostras montadas em lâmina delgada pode ser necessário para permitir a identificação da mineralogia das partículas. Porém, o exame preliminar ao microscópio pode revelar-se também ele muito difícil uma vez que se encontra frequentemente uma mistura de partículas de diferentes dimensões e propriedades ópticas, incluindo materiais opacos. Assim, a escolha da técnica microscópica a utilizar é muito importante.

Tradicionalmente a composição mineralógica de rochas e amostras “tal e qual” ou de fracções de sedimentos e solos é determinada utilizando a lupa binocular, o microscópio petrográfico de luz transmitida polarizada e/ou o microscópio de luz reflectida no caso do estudo mais detalhado de materiais opacos.

No entanto, para estudos mais detalhados deve recorrer-se à microscopia electrónica de varrimento (SEM). Neste caso, o modo de detecção de electrões secundários fornece imagens tridimensionais que permitem uma caracterização da topografia do objecto. A importância do SEM tem sido sobretudo descrita na análise forense de texturas de superfície de grãos dos grãos de quartzo na comparação de locais (Bull e Morgan 2006); o modo de detecção de electrões retrodifundidos permite fazer uma distinção dos materiais com base na sua composição química, nomeadamente na densidade atómica dos elementos que constituem o objeto de análise.

Dependendo, ainda, do tamanho do objeto alvo de investigação forense, também pode ser possível analisar por SEM partículas, minerais, pigmentos, solos sem que seja necessário removê-los do objeto em questão. Muitas das partículas minerais mais comuns nos solos podem exibir uma variedade de atributos distintos, por exemplo, tamanho, forma, textura de superfície e composição química, que permitem a sua comparação de uma amostra para outra. Adicionalmente, as partículas individuais de um solo encontram-se frequentemente associadas em agregados, e essas associações e outros dados texturais podem ser observadas.

Por sua vez, o SEM associado à micro-análise por raios-X (energy dispersive spectrometry, EDS) é frequentemente utilizado para determinar a composição química semiquantitativa das partículas, podendo, ainda, obter-se imagens de raios-X e assim localizar partículas pouco comuns e fazer um mapeamento da sua distribuição, a qual pode ser de diagnóstico ou importância discriminatória.

Desde o desenvolvimento dos sistemas de microscopia electrónica controlados por computador e de análise por microsonda, no início dos anos 70, tem sido possível efetuar análises de rochas e sedimentos envolvendo entre milhares e milhões de pontos analisados.

Um exemplo de um sistema automatizado moderno foi descrito por Pirrie (2009). O sistema – QemSCAN, consiste num sistema SEM contendo até quatro espectrómetros de dispersão de energias. Este sistema é capaz de caracterizar cerca de mil partículas por hora e adicionalmente obter dados de tamanho e forma das partículas que podem ser armazenados como imagens de electrões retrodifundidos e mapas de cor mostrando variações na composição interna de agregados de solos e sedimentos.

A limitação desta técnica reside na impossibilidade de diferenciação de diferentes espécies que tenham essencialmente a mesma composição elementar e.g. calcite e aragonite, hematite e magnetite, mas também no grau de especialização, custo e disponibilidade.

A identificação mineralógica com recurso à Espectroscopia Raman é atualmente uma técnica muito utilizada na investigação geoforense, como pode ser constatado em Chalmers *et al.* (2012). Esta análise fornece a identificação imediata do mineral/material analisado, uma vez que os dados obtidos, sob a forma de espectros, são únicos, ou seja são como uma impressão digital do material (Figura 3). O seu carácter não destrutivo e elevada resolução espacial, conjuntamente com a possibilidade de efectuar análises *in situ*, à temperatura e pressão ambiente, em amostras de tamanho e forma variáveis, sem ter de recorrer à sua preparação prévia, tornam esta técnica particularmente atraente na investigação forense. Não sendo de estranhar que esta análise também se tenha revelado muito útil na identificação de gemas em peças de joalharia bem como na identificação de pigmentos minerais em obras de interesse arqueológico e histórico.

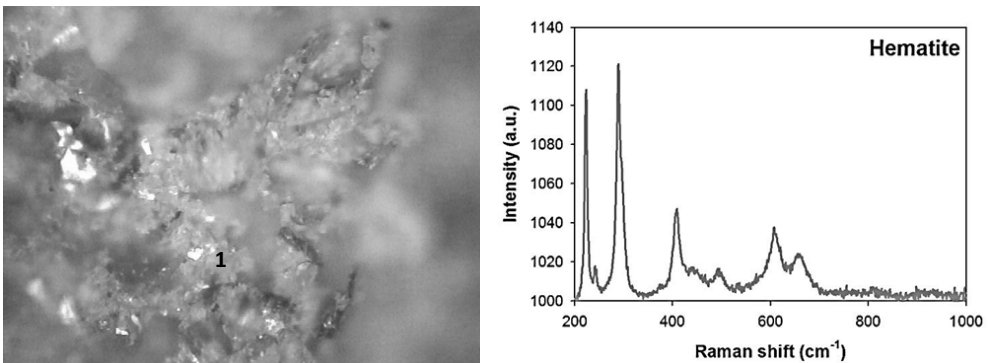


Figura 3. Espectro Raman de hematite (1) obtido numa amostra de solo (à esquerda encontra-se a imagem de microscopia ótica).

Figure 3. Raman spectra of (1) hematite obtained from a soil sample (optical microscopy image on the left).

Outras técnicas e métodos analíticos têm também vindo a ser utilizados e desenvolvidos fornecendo dados úteis na discriminação inerente aos geomateriais, quer sejam materiais geológicos naturais quer materiais antropogénicos formados a partir de materiais naturais. Compilações sobre os métodos analíticos utilizados na investigação forense podem ser encontradas em Pye (2007), Morgan e Bull (2007) ou Dawson e Hillier (2010).

4. Considerações finais

Apesar de muitos materiais geológicos serem frequentemente utilizados como provas pelas polícias científicas, está ainda por realizar muita investigação acerca da relevância das suas propriedades numa investigação forense, o desenvolvimento e a implementação de técnicas e métodos analíticos avançados no estudo de situações criminais e a existência de protocolos analíticos e bases de dados de geomateriais. Estas etapas da Geologia Forense revestem-se de importância fundamental para a clarificação e a tomada de decisões cientificamente fundamentadas destinadas a utilização judicial e constam das prioridades futuras da comunidade geoforense.

Referências

- Bergslien E.T. 2012. *An Introduction to Forensic Geoscience*. Wiley-Blackwell.
- Bull P.A., Morgan R.M. 2006. Sediment Fingerprints: A forensic technique using quartz sand grains. *Science and Justice* 46 (2): 107-124.
- Chalmers J.M., Edwards H.G.M., Hargreaves M.D. 2012. *Infrared and Raman Spectroscopy in Forensic Science*. John Wiley & Sons, Chichester.
- Chazottes V., Brocard C., Peyrot B. 2004. Particle size analysis of soils under simulated scene of crime conditions: the interest of multivariate analyses. *Forensic Science International* 140 (2-3): 159-166.
- Croft D.J., Pye K. 2004. Colour theory and evaluation of an instrumental method of measurement using geological samples for forensic applications. In: Pye, K., Croft, D.J. (Eds.), *Forensic Geoscience: Principles, Techniques and Applications*. Geological Society Special Publications 232: 49-62.
- Dawson L.A., Hillier S. 2010. Measurement of soil characteristics for forensic applications. *Surface and Interface Analysis* 42 (5): 363-77.
- Guedes A., Ribeiro H., Valentim B., Noronha F. 2009. Quantitative colour analysis of beach and dune sediments for forensic applications: a Portuguese example. *Forensic Science International* 190: 42–51.
- Guedes A., Murray R., Ribeiro H., Rodrigues A., Valentim B., Sant’Ovaia H., Noronha F. 2013. Integration of different sediment characteristics to discriminate between sources of coastal sediments. In: Pirrie, D., Ruffell, A., Dawson, L.A. (Eds.), *Environmental and Criminal Forensics*. Geological Society, Special Publications, Londres: 384: 97-108.
- Hutton C.O. 1950. Studies of heavy detrital minerals. *Bulletin of the Geological society of America* 81: 635-716.
- Isphording W.C. 2007. Forensic use of heavy minerals in civil and criminal investigations. In: Mange, M.A., Wright, D.T. (Eds.), *Heavy minerals in use. Developments in sedimentology* 58: 963-982.
- Johnston R.M. 1967. Spectrophotometry for the analysis and description of color. *Journal of Paint Technology* 39: 346-354.
- Krumbein W.C., Pettijohn F.J. 1938. *Manual of Sedimentary Petrography*. D. Appleto-Century-Croft Company Inc., New York.
- Mange M.A., Maurer H.F.W. 1992. *Heavy Minerals in Colour*. Chapman & Hall, London.
- Milner H.B. 1962. *Sedimentary Petrography*. George Allen & Unwin Ltd., London.
- Morgan R.M., Bull P.A. 2007. The philosophy, nature and practice of forensic sediment analysis. *Progress in Physical Geography* 31 (1): 43-58.
- Murray R.C. 2004. *Evidence from the Earth*. Mountain Press, Missoula.
- Murray R.C. 2011. *Evidence from the Earth: Forensic Geology and Criminal Investigation*, Second Edition. Mountain Press, Missoula.

- Murray R., Tedrow J.C.F. 1992. *Forensic Geology: Earth Sciences and Criminal Investigation*. Rutgers University Press, New York.
- Palenik S. 2007. Heavy minerals in forensic science. In: Mange, M.A. e Wright, D.T. (Eds.), *Heavy minerals in use. Developments in sedimentology* 58: 937-961.
- Pirrie D. Power M.R., Rollinson G.K., Wiltshire P.E.J., Newberry J., Campbell H.E. 2009. Automated SEM-EDS (QEMSCAN) Mineral Analysis in Forensic Soil Investigations: testing instrumental reproducibility. In: Ritz, K., Dawson, L., Miller, D. (Eds.), *Criminal and Environmental Soil Forensics*. Springer, Londres: 411-431.
- Pye K. 2007. *Geological and soil evidence: forensic applications*. CRC, Boca Raton, London.
- Pye K., Blott S.J. 2004. Particle size analysis of sediments, soils and related particulate materials for forensic purposes using laser granulometry. *Forensic Science International* 144 (1): 19-27.
- Ritz K., Dawson L., Miller D. 2009. *Criminal and Environmental Soil Forensics*. Springer.
- Ruffell A., Mckinley J. 2008. *Geoforensics*. John Wiley & Sons, Ltd, Belfast.
- Saye S.E., Pye K. 2004. Development of a coastal dune sediment database for England and Wales: Forensic applications. In: Pye, K., Croft, D.J. (Eds.), *Forensic Geoscience: Principles, Techniques and Applications*, Geological Society Special Publications 232: 75-96.
- Sugita R., Marumo Y. 1996. Validity of color examination for forensic soil identification. *Forensic Science International* 83: 201-210.
- Sugita R, Marumo Y. 2004. "Unique" particles in soil evidence. In: Pye, K., Croft, D.J. (Eds.), *Forensic Geoscience: Principles, Techniques and Applications*. Geological Society Special Publications 232: 97-102.
- Thornton J.I. 1997. Visual colour comparisons in forensic science. *Forensic Science Review* 9: 37-57.