



TÉCNICAS DE CARACTERIZAÇÃO E DIFERENCIAMENTO DE AMOSTRAS DE SOLOS FORENSES: UMA PROPOSTA DE ESTUDO DE QUÍMICA DE LOCAIS DE CRIME

AMANDA FONSECA LEITZKE¹; **CLAUDIO MARTIN PEREIRA DE PEREIRA²**;
RAFAEL SCORSATTO ORTIZ³; **SAMARA ALVES TESTONI⁴**

¹ Universidade Federal de Pelotas – INCT Forense - (amandafonsecaleitzke@gmail.com)

² Universidade Federal de Pelotas – INCT Forense - (claudiochemistry@gmail.com)

³ Departamento de Polícia Federal, Setor Técnico-Científico - INCT Forense - (ortiz.rs@gmail.com)

⁴ Universidade Federal de Pelotas – INCT Forense - (testonisamara@gmail.com)

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, o conhecimento científico tem adquirido um papel crucial na elucidação de crimes, entretanto, a utilização dos conhecimentos científicos para a análise de vestígios encontrados em locais de crime, iniciou-se, de certa forma, com o surgimento da civilização. Na Roma antiga, eram relativamente comuns os casos de envenenamento de figuras proeminentes do mundo político, o que, consequentemente, resultava em uma investigação dos indícios típicos desta prática (DE FARIAS, 2008).

Em 1840, após o assassinato de Charles LaFarge, cometido por sua esposa, foram coletadas amostras do corpo exumado para posterior análise, e foi possível determinar que havia ocorrido envenenamento por arsênico, comprovando que o tóxico não era advindo do solo no qual o corpo fora enterrado (DE FARIAS, 2008). Diversos tipos de evidências físicas têm sido utilizados para auxiliar na elucidação de cenas de crime, tais como DNA, cabelo, tinta, vidro, fibras e vestígios de plantas e solo (BARBAR et al., 2008; CORRÊA et al., 2017, TESTONI et al., 2020).

O uso de solo em investigações criminais pode ser uma fonte valiosa de informações devido à sua natureza singular, que o torna altamente variável nos mais diversos ambientes. A variabilidade do solo é derivada de suas propriedades físicas, químicas e mineralógicas, as quais conferem ao solo uma impressão digital única, permitindo o estabelecimento da provável origem de traços de solo aderidos a uma ampla gama de objetos e indivíduos, incluindo solados de calçados, pneus, roupas e cabelo (PRANDEL et al., 2017, TESTONI et al., 2020). O potencial do solo como evidência em cenas de crime se deve ao seu caráter altamente individualista, o que resulta em uma vasta diversidade e complexidade, possibilitando a clara distinção entre amostras de solo (TESTONI et al., 2019).

Quando o solo é transferido para diferentes tipos de superfícies e é submetido à detecção e à recuperação, a amostra questionada pode ser analisada para determinar a ligação entre um objeto e a sua provável origem (TESTONI et al., 2019). Após a coleta, uma série de técnicas analíticas pode ser aplicada para caracterizar as amostras de solo. Por exemplo, para um solo de origem desconhecida, a escolha do método dependerá de aspectos como quantidade, condição e fração predominante da amostra, bem como dos equipamentos e tempo disponível (TESTONI et al., 2020).

2. METODOLOGIA

Vários estudos recentes demonstraram a utilização de metodologias padronizadas como difração de raios-X (DRX), técnicas espectroscópicas como

EDX e infravermelho por transformada de Fourier (FTIR), análise elementar, distribuição de tamanho de partícula, microscopia eletrônica de varredura, cor do solo e microbiologia do solo para analisar amostras de solo de cenas de crimes, suspeitos e veículos na Austrália e no Reino Unido (TESTONI et al., 2019). Desta forma, dados obtidos a partir de análise de distribuição de tamanho de partícula (PSD) podem fornecer uma maneira útil de caracterizar solos e sedimentos para fins de comparação.

As técnicas espectroscópicas de EDX e FTIR são utilizadas com o objetivo de discriminar amostras de solo, com base na caracterização geral e em estudos de estruturas moleculares de compostos orgânicos e inorgânicos (PRANDEL et al., 2020). Partículas com a granulometria maior são normalmente dominadas pela presença de quartzo e suas características morfológicas focam-se em alguns aspectos relacionados ao transporte, acumulação e intemperismo, o que faz com que estas permaneçam dentro e sobre o grão de areia por mais tempo (MELO et al., 2020). Estas características podem fornecer informações importantes sobre a natureza e a provável origem da amostra, dependendo da abordagem analítica utilizada.

A técnica de DRX é normalmente utilizada para determinar a concentração de diferentes elementos em uma amostra e apresenta algumas vantagens como boa sensibilidade, não destrutividade, assim como a relação simples da física fundamental que causa a interação átomo-radiação (TESTONI et al., 2019). Com isso, a análise mineral com DRX é capaz de distinguir diferentes fases minerais de composição química similar (PRANDEL et al., 2020). A análise elementar por FRX reflete a assinatura geográfica e geológica do solo, que pode ser útil para estabelecer correlações com a localização original do solo (TESTONI et al., 2019). Comumente, os valores de Si, K, Al, Fe, Ti, Sr, Zr e Rb podem refletir processos litogenéticos e pedológicos no sistema de solo, enquanto os teores de S, Ca e P podem indicar interferência antropogênica (TESTONI et al., 2019).

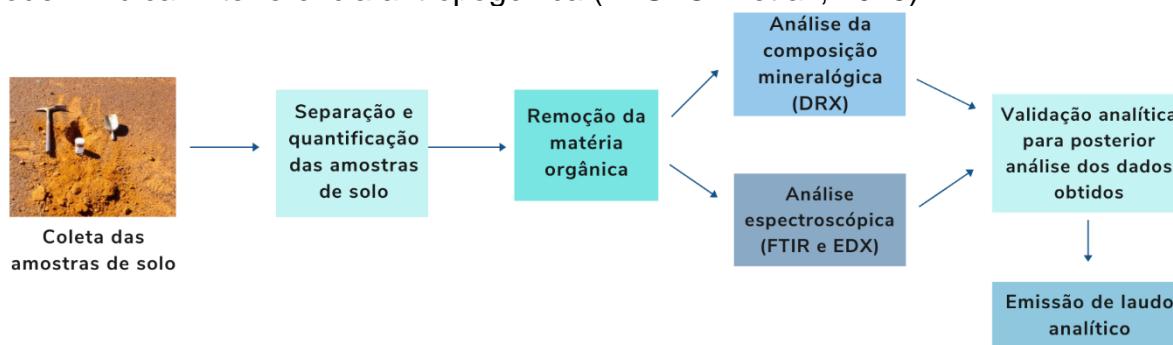


Figura 1. Fluxograma referente aos métodos de caracterização e diferenciação das amostras de solo.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para o uso da técnica de EDX, espera-se obter um perfil elementar semi-quantitativo das amostras, o qual indicará a composição química majoritária das mesmas. Com o uso do DRX, espera-se traçar um perfil mineralógico das amostras, o qual poderá fornecer os minerais predominantes e acessórios das mesmas. Estes resultados poderão ser correlacionados àqueles obtidos com a técnica de espectroscopia por energia dispersiva (EDS), associando-se o mineral à composição química obtida.

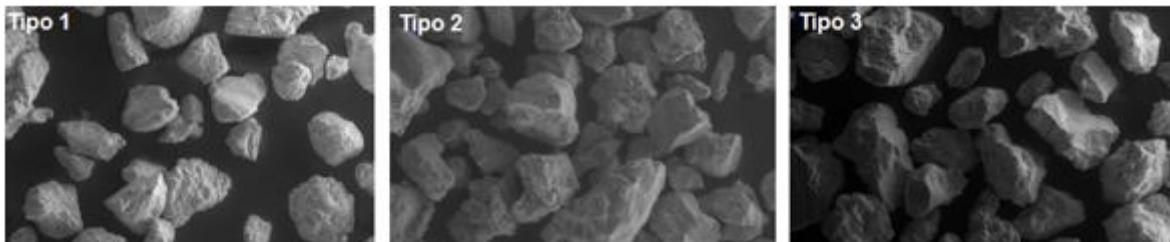


Figura 2. Diferentes tipos de amostras obtidos a partir de SEM-EDS. Adaptado de Melo et al. (2020)

A técnica de DRX é amplamente utilizada na caracterização juntamente com outras metodologias como microscopia eletrônica de varredura, microscopia vibracional na região do infravermelho, espectrometria de massas e ressonância magnética nuclear (FILHO et al., 2013). Técnicas espetroscópicas, como espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) e fluorescência de raios-x dispersiva de energia (EDXRF) mostram boa sensibilidade e requerem uma quantidade reduzida de amostra de solo (PRANDEL et al., 2020).

Em um estudo realizado por PRANDEL et al. (2020), tais técnicas realizaram a caracterização, discriminação e classificação com êxito de amostras de solo de maneira precisa, baseadas em dados de métodos analíticos considerados não destrutivos e de baixo custo, principalmente em comparação com abordagens químicas. Além disso, através da coleta de amostras de solo em Cabenrra (Austrália), WOODS et al. (2016) desenvolveram um procedimento de análise de amostra de solo para evidências forenses com base em um protocolo analítico proposto por diversas técnicas para investigar traços de evidências, incluindo ATR-FTIR e RFX.

Segundo MELO et al. (2019), a partir de uma análise mineralógica com a técnica de DRX e uma análise química sequencial, avaliou-se uma pequena amostra de vestígios de solo (0,5g) encontrada no veículo de um suspeito envolvido em um caso de homicídio. Com base nestas análises, foi possível fazer uma comparação entre a amostra de solo do veículo e as amostras de solo encontradas no local de desova do corpo da vítima, na beira da Estrada da Graciosa, no estado do Paraná no Brasil. Desta maneira, os resultados ligaram o veículo do suspeito ao local de crime.

Estas técnicas demonstraram enorme eficácia na discriminação de amostras de solo. Adicionalmente, SAYA e PYE (2004) relataram que FTIR pode ser usada para comparação forense de solos, mas o seu potencial de utilização em perícia para discriminar solos de cor semelhante foi apenas investigado utilizando um limitado número de solos. CENGIZ et al. (2004) compararam o poder de discriminação das amostras de solo homogeneizadas e não homogeneizadas de Istambul. Eles verificaram que SEM-EDX era um método preciso, mesmo com quantidades muito pequenas de amostras. Portanto, eles concluíram que SEM-EDX pode ser usado para determinar a composição elementar das partículas de areia (MELO et al., 2020).

4. CONCLUSÕES

Com a aplicação das metodologias analíticas descritas neste trabalho, a partir da coleta de solo na cena de crime e posterior comparação com o local indicado pelo suspeito, é possível utilizar estas técnicas para colocar o suspeito na cena de crime e excluir a hipótese alternativa. Ou seja, estas mostraram ser de extrema importância para determinar a localização de origem de amostras de solo coletadas



em cenas de crime. Portanto, com base nos resultados gerados, é possível concluir que estes são capazes de discriminar solos advindos de locais distintos e agrupar solos provenientes de locais similares, fornecendo assim, uma clara associação dos vestígios de solo à uma cena de crime.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARBAR, L. C.; MELO, V. F. Variability of the Chemical and Mineralogical Characteristics of Soils of the Metropolitan Region of Curitiba (PR). **Scientia Agraria**, v.9, n.2, p.187–197, 2008.
- CENGİZ, S.; KARACA, A. C.; ÇAKIR, I.; ÜNER, H. B.; SEVINDIK, A. SEM-EDS analysis and discrimination of forensic soil. **Forensic Science International**, v.141, p.33–37, 2004.
- CORRÊA, R. S.; MELO, V. F.; ABREU, G. G. F.; SOUSA, M. H.; CHAKER, J. A.; GOMES, J. A. Soil forensics: How far can soil clay analysis distinguish between soil vestiges? **Science and Justice**, v.58, n.2, p.138-144, 2018.
- DE FARIAS, R. F. **Introdução à Química Forense**. Campinas, SP: Editora Átomo, 2008.
- FILHO, H. D. F.; LOPES, G. A. C. Avanços em caracterização de amostras sólidas cristalinas através de Difratometria de Raios-X. **Estação Científica (UNIFAP)**, v.3, n.1, p.31-45, 2013.
- MELO, V. F.; TESTONI, S. A.; DAWSON, L.; DE LARA, A. G.; SALVADOR, F. A. S. Can analysis of a small clod of soil help to solve a murder case? **Science and Justice**, v.69, p.667-677, 2019.
- MELO, V. F.; TESTONI, S. A.; DAWSON, L. A.; SALVADOR, F. A. S. Sand fraction is not suitable for forensic investigations in subtropical soils. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.44, p.1-15, 2020.
- PRANDEL, L. V.; MELO, V. F.; BRINATTI, A. M.; SAAB, S. C.; SALVADOR, F. A. S. X-ray Diffraction and Rietveld Refinement in Deferrified Clays for Forensic Science. **Journal of Forensic Sciences**, v.63, n.1, p.251-257, 2018.
- PRANDEL, L. V.; MELO, V. F.; TESTONI, S. A.; BRINATTI, A. M.; SAAB, S. C.; SALVADOR, F. A. S.; DAWSON, L. A. Spectroscopic techniques applied to discriminate soils for forensic purposes. **Soil Research**, v.58, n.2, p.151-160, 2020.
- SAYE, S.E.; PYE, K. Development of a coastal dune sediment database for England and Wales: forensic applications. **Geological Society, London, Special Publications**, v.232, p.75-96, 2004.
- TESTONI, S. A.; MELO, V. F.; DAWSON, L. A.; MALAKOSKI, J.; CUNICO, E.; NETO, J. A. J. The Use of a Sequential Extraction Technique to Characterize Soil Trace Evidence Recovered from a Spade in a Murder Case in Brazil. **Journal of Forensic Sciences**, v.65, n.6, p.1921-1934, 2020.
- TESTONI, S. A.; MELO, V. F.; DAWSON, L. A.; SALVADOR, F. A. S.; KUNII, P. A. Validation of a standard operating procedure (SOP) for forensic soils investigation in Brazil. **Revista Brasileira de Ciência Do Solo**, v.43, p.1–18, 2019.
- TESTONI, S. A.; MELO, V. F.; DAWSON, L. A., SALVADOR, F. A. S.; PRANDEL, L. V. Evaluation of forensic soil traces from a crime scene: robbery of a safety deposit box in Brazil. Forensic soil traces from a crime. **Geological Society, London, Special Publications**, v.492, n.28, 2019.
- WOODS, B.; LENNARD, C.; KIRKBRIDE, K. P.; ROBERTSON, J. Soil examination for a forensic trace evidence laboratory-Part 3: A proposed protocol for the effective triage and management of soil examinations. **Forensic Science International**, v.262, p. 46–55, 2016.