

IDENTIFICAÇÃO E PROVENIÊNCIA DE FRAGMENTOS METÁLICOS ENCONTRADOS EM CRÂNIO HUMANO VIA ESPECTROSCOPIA DE RAIOS X POR ENERGIA DISPERSIVA (EDX)

IDENTIFICATION AND PROVENANCE OF METAL FRAGMENTS FOUND IN HUMAN SKULL VIA ENERGY DISPERSIVE X-RAY SPECTROSCOPY (EDX)

¹Samara A. Testoni*

²Marcelly E. Oliveira

³Wladimir R. Duarte

⁴Lucas S. Rodrigues

⁵Guilherme K. Maron

⁶Neftali L. V. Carreño

⁷Rafael S. Ortiz

⁸Claudio M. P. de Pereira

¹Universidade Federal do Rio Grande do Sul – *campus* do Vale. E-mail: testoniamara@gmail.com

²Universidade Federal do Paraná – centro Politécnico. E-mail: marcellyecheverria@gmail.com

³Instituto Geral de Perícias (IGP) – Pelotas/RS. E-mail: wladimirduarte@yahoo.com.br

⁴Universidade Federal de Pelotas – *campus* Anglo. E-mail: lucasdasilva.r@icloud.com

⁵Universidade Federal de Pelotas – *campus* Anglo. E-mail: g_maron@hotmail.com

⁶Universidade Federal de Pelotas – *campus* Anglo. E-mail: nlv.carreno@gmail.com

⁷Departamento de Polícia Federal – Setor Técnico-Científico. E-mail: ortiz.rs@gmail.com

⁸Universidade Federal de Pelotas – Instituto de Química e Geociências. E-mail: claudiochemistry@gmail.com

*Autor de correspondência

Artigo submetido em 30/06/2023, aceito em 16/09/2023 e publicado em 01/11/2023.

Resumo: A análise de fragmentos metálicos em ossos perfurados pode determinar se houve ou não manipulação de projétil de arma de fogo (PAF). As características dos projéteis, como composição química, substâncias e resíduos gerados posteriormente ao disparo, podem contribuir para a elucidação de diversos processos criminais. O objetivo deste trabalho foi investigar a composição química de fragmentos metálicos presentes em perfurações de crânio humano, e relacioná-los ou não a um projétil de arma de fogo. Para esta investigação, utilizou-se análise de espectroscopia de raios X por energia dispersiva (EDX) para obter a composição elementar semi-quantitativa do material analisado. A composição química dos fragmentos metálicos encontrados em perfurações cranianas foi semelhante à comumente encontrada em PAF, os quais apresentam Pb, Cu, Zn e Fe como elementos majoritários. A análise de EDX é uma técnica conveniente (custo-benefício), relativamente rápida e não-destrutiva, mostrando-se eficiente na discriminação de fragmentos metálicos presentes nos orifícios do crânio humano, sendo possível relacioná-los com disparos de armas de fogo.

Palavras-chave: Ciências Forenses; projéteis; metais pesados; chumbo; análise elementar.

Abstract: The analysis of metallic fragments in perforated bones can determine whether or not there was manipulation of a firearm projectile (FAP). The characteristics of the projectiles, such as chemical composition, substances and residues generated after firing, can contribute to the elucidation of several criminal cases. The objective of this work was to investigate the chemical composition of metallic fragments present in human skull perforations, and to relate them or not to a firearm projectile. For this investigation, energy dispersive X-ray spectroscopy (EDX) analysis was used to obtain the semi-quantitative elemental composition of the analyzed material. The chemical composition of metallic fragments found in cranial perforations was similar to that commonly found in FAP, which have Pb, Cu, Zn and Fe as major elements. EDX analysis is a convenient technique (cost-effective), relatively fast and non-destructive, proving to be efficient in the discrimination of metallic fragments present in the holes of the human skull, being possible to relate them with gunshot residues.

Keywords: Forensic Sciences; projectiles; heavy metals; lead; elemental analysis.

1 INTRODUÇÃO

No âmbito da balística forense, existem várias técnicas utilizadas para avaliar o contexto criminal, como a microscopia eletrônica de varredura acoplada à espectroscopia de raios X por energia dispersiva (SEM-EDX) (BROZEK-MUCHA, 2014; FRENCH e MORGAN, 2015; BROŽEK-MUCHA, 2017), microanálise de raios X e espectroscopia de infravermelho (FTIR) (ORTEGA-OJEDA *et al.*, 2017), fluorescência de raios X (XRF) (SARAPURA *et al.*, 2019), difração de raios X, análise orgânica Goudsmits *et al.* (2015), dentre outras.

A análise de fragmentos metálicos em ossos perfurados pode determinar se houve ou não manuseio de projétil de arma de fogo (PAF). As características dos projéteis, como composição química, substâncias e resíduos gerados após o disparo, podem contribuir para a elucidação de inúmeros casos criminais (DITRICH, 2012; PESCHEL *et al.*, 2013; STERZIK, 2016; HALLETT *et al.*, 2020; GARG *et al.*, 2021; LAMBERT *et al.*, 2022; DANILCHENKO *et al.*, 2023).

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Quando uma arma de fogo é disparada, grandes quantidades de material gasoso são geradas e expelidas concomitantemente ao lançamento do projétil. Ao longo da trajetória do projétil

de arma de fogo (PAF), o material gasoso pode sofrer solidificação, tornando-se particulado pela ação da temperatura, resultando em resíduo de disparo de arma de fogo (DELANNOY *et al.*, 2013; AYUSTA e NIRYANA, 2019; HIRAMATSU, 2020; GARG *et al.*, 2021; Shah *et al.*, 2021).

Este resíduo possui em sua composição elementos provenientes da deflagração da carga do projétil, principalmente Pb, Ba e Sb, além de outros como Cu, Zn e Fe, que podem estar associados a fragmentos de pólvora parcialmente fundida e ao próprio cano da arma de fogo (HALLETT *et al.*, 2020; GARG *et al.*, 2021). A distância de disparo do PAF pode interferir na presença desses fragmentos, sendo que disparos feitos a longas distâncias tendem a apresentar resíduos em regiões adjacentes aos orifícios de entrada, enquanto disparos feitos a curtas distâncias podem depositar resíduos em outras regiões (ROSA, 2017; MIRANDA *et al.*, 2019).

A detecção e posterior avaliação da composição química dos resíduos encontrados nas perfurações pode contribuir para a elucidação de processos criminais, indicando se houve ou não manipulação de armas de fogo. Observa-se com frequência que esses resíduos apresentam características típicas em relação à morfologia e composição química da partícula, que contém principalmente resíduos de nitritos, Pb, Ba e Sb, conforme relatado na literatura

(BROŽEK-MUCHA, 2017; ORTEGA-OJEDA *et al.*, 2017; MIRANDA *et al.*, 2019). Esses elementos principais são derivados de explosivos como trinitroresorcinato de chumbo, sais de bário e sulfeto de antimônio (REIS *et al.*, 2004; GOUDSMITS *et al.*, 2015; ROSA, 2017).

A espectroscopia de raios X por energia dispersiva (EDX) constitui-se uma técnica conveniente, de baixo custo e não-destrutiva, capaz de identificar e quantificar elementos presentes na amostra sem contaminação ou descaracterização, sendo utilizada para diversas finalidades na área de das Ciências Forenses (YIN *et al.*, 2022; ZHU *et al.*, 2020), assim como na avaliação de materiais arqueológicos (SILVA *et al.*, 2006; APPOLONI, 2018), em pesquisas relacionadas à determinação de elementos químicos em águas contaminadas (PATACA *et al.*, 2005; SANTOS *et al.*, 2013; MARONEZE *et al.*, 2014), na obtenção da composição da biomassa de algas aplicada ao desenvolvimento de marcas de dedos (PASSOS *et al.*, 2021), na análise de metais em solos coletados em locais de crime (MELO *et al.*, 2019; TESTONI *et al.*, 2019; PRANDEL *et al.*, 2020), dentre outros.

Um dos grandes destaques do uso do EDX para este estudo de casa se refere à análise de materiais já intensamente degradados, tais como ossadas enterradas por longos períodos, ou ainda, como materiais que sofreram carbonização durante o delito. Técnicas que envolvam análise de materiais genéticos como tecidos celulares, não seria possível de aplicar neste estudo, dado o estado que foi encontrada a ossatura no momento das análises laboratoriais. Ainda, pode-se evidenciar também a necessidade de se utilizar equipamentos e técnicas analíticas que permitam a recuperação do material, para a eventual submissão a análises complementares. Além de manter a integridade da amostra e, conseqüentemente, permitir sua recuperação após a análise, o EDX é uma

técnica que fornece uma caracterização química rápida e geral sobre os materiais analisados.

Neste contexto, este trabalho teve como objetivo investigar a composição química de fragmentos metálicos encontrados em perfurações de um crânio humano com base em análise de espectroscopia de raios X por energia dispersiva, e verificar se estes fragmentos apresentam alguma relação com projéteis comumente utilizados no disparo de armas de fogo.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Previamente à análise da composição química elementar do material, foi realizada uma avaliação dos ossos cranianos, onde a análise macroscópica da abóbada craniana apresentou conformação usual, com extensa interrupção de continuidade na hemiface direita. Estas informações acerca da medicina legal são pertinentes ao estudo proposto uma vez que permitem uma compreensão mais clara da morfologia do material a ser analisado. De posse do conhecimento morfológico, as análises via EDX foram adequadamente direcionadas para as posições de interesse quanto à suspeita de ocorrência dos fragmentos de disparo de armas de fogo.

A análise de EDX foi realizada nas bordas das lesões descritas da estrutura craniana para investigar a presença de fragmentos metálicos compatíveis com projéteis de arma de fogo. O equipamento utilizado foi o EDX-720 – *Shimadzu Scientific Instruments*, contendo um tubo de ródio (Rh) com voltagem de 50 V, dotado de feixe colimador de 5,0 mm e um detector resfriado com nitrogênio líquido (NL2). Os materiais foram dispostos na região de amostragem, localizada dentro da câmara de amostra do equipamento, recoberta por um filme fino de polipropileno de 0,2 mm e 5 µm de espessura. O tempo de exposição da amostra para obtenção dos dados

elementares é de aproximadamente 2 minutos por amostra, dependendo da varredura química selecionada. O material de polipropileno é comumente utilizado em porta-amostras de equipamentos de EDX. O filme permite que o material seja mantido no interior do porta-amostras sem que haja contato direto com o equipamento, prevenindo sua contaminação em leituras posteriores.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

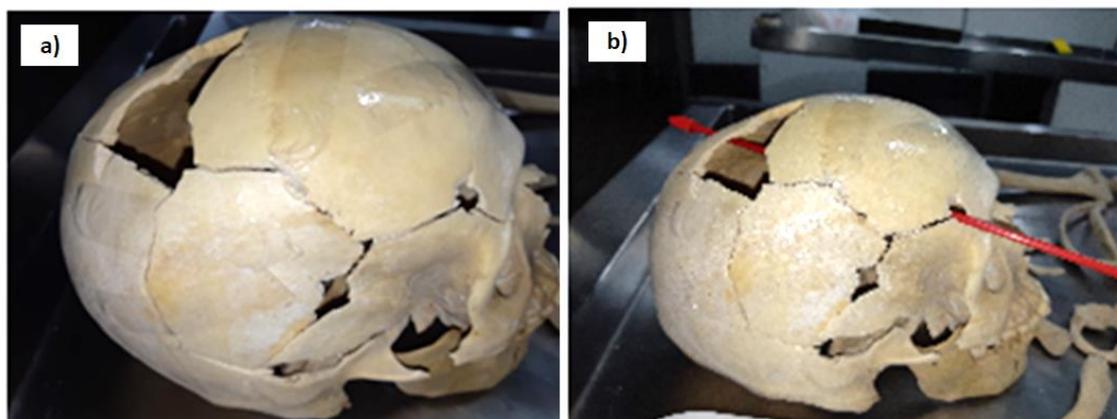
Após o encaixe de 2 (dois) fragmentos irregulares de ossos chatos na hemiface direita do crânio, foram verificadas 3 (três) porções ósseas ausentes e remanescentes, localizadas nas seguintes

Adicionalmente, o filme permite que os feixes de raios X atinjam o material, sem quaisquer interferências na obtenção dos dados.

Para obtenção da composição química elementar, foram analisados três pontos diferentes do crânio, com base nas faixas de detecção dos elementos Ti -U, Na-Cs, Rh-Cd, Zn-As, Pb, Cr-Fe e Sb.

regiões cranianas: região parietal direita, escala da região temporal direita e região da asa maior do esfenóide à direita, medindo 6,5 x 5,5 cm, 2,0 x 1,5 cm e 5,5 x 2,0 cm, respectivamente (Figura 1a).

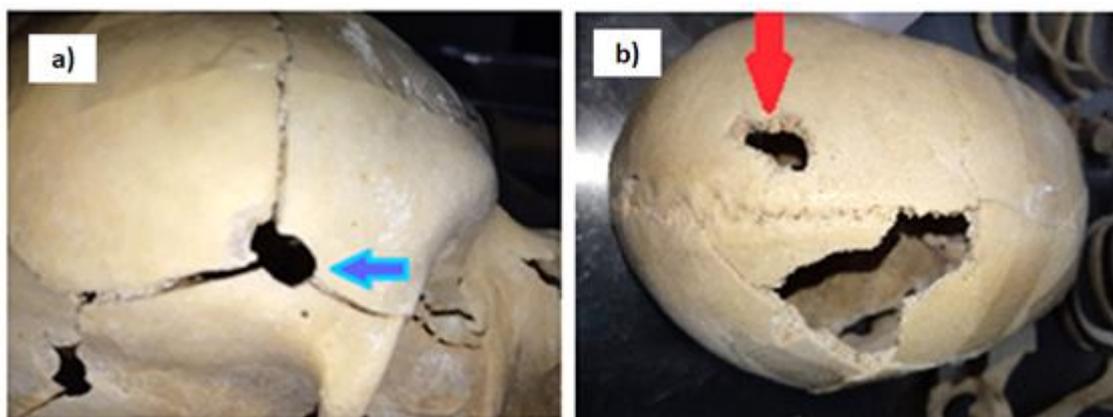
Figura 1 – Estrutura craniana recebido para análise e reconstrução: a) superfície panorâmica da hemiface direita do crânio, b) estilete passando pelos orifícios cranianos



Na Figura 1b é possível observar um estilete passando pelos orifícios cranianos estudados. Na região frontal direita do crânio, observou-se um orifício elíptico com bisel interno, do qual partem 3 (três) linhas de fratura independentes, com tamanho aproximado de 1,5 x 0,9 cm nos eixos maiores, e 5,0 cm afastados da

linha média (Figura 2a). Na região parietal posterior direita, foi verificado um orifício irregular com bisel externo, com medidas equivalentes a 2,8 x 2,0 cm nos maiores eixos e 1,2 cm afastado da linha média (Figura 2b).

Figura 2 – Orifícios presentes no osso craniano, possivelmente relacionados ao projétil de arma de fogo (PAF): a) orifício elíptico com bisel interno (seta azul), b) orifício irregular com bisel externo (seta vermelha)



A análise macroscópica do crânio evidenciou lesões traumáticas, assim distribuídas: região frontal direita, onde foi observado um orifício elíptico com bisel interno (Figura 2a), classificado como Sinal do Funil de Bonnet (DURÃO e MACHADO, 2015). Essa classificação é caracterizada por um ferimento de entrada ou saída em ossos chatos, comumente ocorrendo em ossos cranianos, produzido pela ação de um instrumento perfuro-cortante, como um projétil de arma de fogo (PAF), possivelmente em tiros médios disparados a curta distância.

Observou-se também que o orifício de entrada apresenta um formato de cone invertido, ou seja, com ferida regular e arredondada externamente, enquanto internamente revelou-se como ferida irregular e de tamanho superior, com formato de bisel definido, e base voltada para a região interna da cavidade. Na região parietal posterior direita, a análise macroscópica revelou um orifício irregular com biselamento externo, também denotando o Sinal do Funil de Bonnet. Nesse sentido, a análise macroscópica das lesões observadas na estrutura craniana mostra que os orifícios elípticos de bisel interno e externo podem estar relacionados aos orifícios de entrada e saída de um PAF,

respectivamente; e que pode ter sido direcionado ao corpo da vítima sob uma trajetória da direita para a esquerda, da frente para trás e de baixo para cima.

Para complementar a análise macroscópica, a técnica de EDX foi realizada em diferentes regiões dos orifícios do osso craniano, e permitiu detectar os elementos Pb, Cu, Fe, Mn e Zn, associados a outros elementos, como Ca, P, K, S, Sr e Si; em porcentagens distintas. Para cada região analisada (Tabela 1), foi gerado um espectro de raios X, de acordo com diferentes intensidades sob contagens por segundo/unidade arbitrária (cps/ua) e energia (keV). A altura e a intensidade das reflexões (picos) estão relacionadas ao teor do elemento (concentração) na amostra analisada. Níveis mais altos de um determinado elemento serão destacados por reflexões de maior altura e sob maior intensidade.

A intensidade das reflexões se refere à agudez ou cristalinidade de cada pico dos espectros de EDX, que, por sua vez, pode ser correlacionada com o teor de cada elemento, isto é, quando mais agudo e cristalino o espectro, maior a quantidade do elemento na composição elementar da amostra.

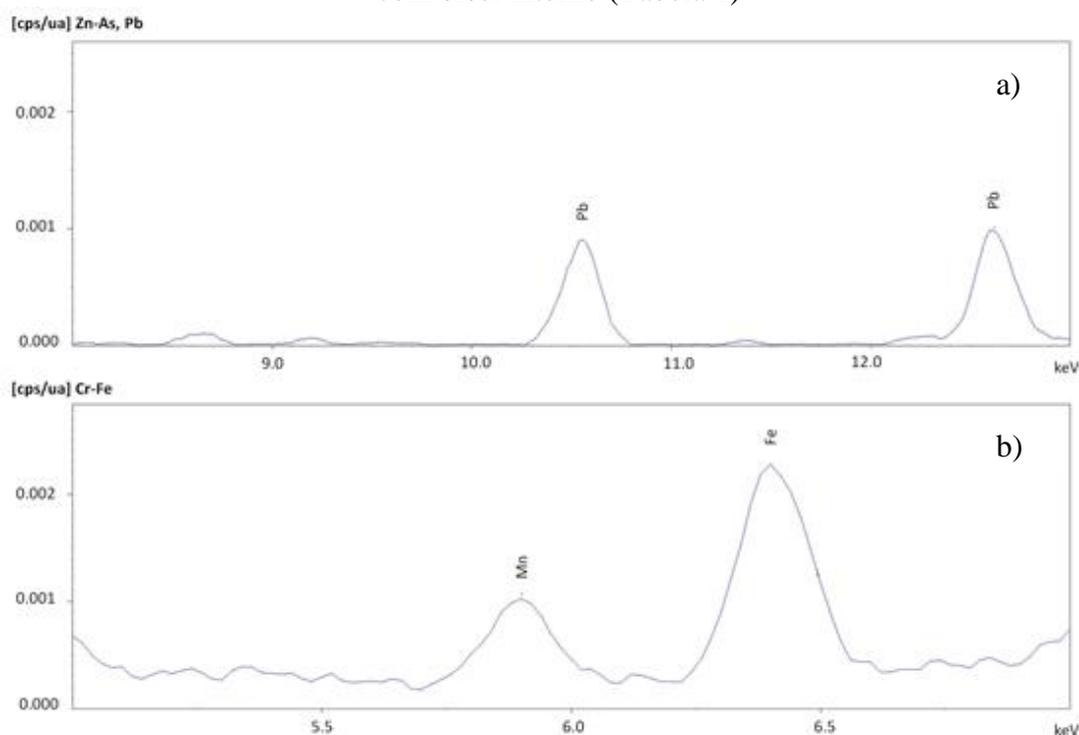
Tabela 1 – Teores elementares de diferentes regiões dos orifícios ósseos cranianos, obtidos por espectroscopia de raios X por energia dispersiva (EDX)

Elemento (%)	Regiões oblíquas/ biselamento interno					Regiões de orifícios/ biselamento externo	
	I	II	III	IV	V	I	II
Pb	63,13	3,60	5,92	-	-	-	-
Fe	23,37	1,45	39,01	0,66	0,30	-	-
Mn	13,50	0,90	25,01	,052	0,32	-	-
Ca	-	79,83	-	86,65	85,06	33,79	82,99
P	-	9,24	-	11,94	13,94	-	15,26
k	-	4,24	-	-	-	38,01	-
Cu	-	0,40	-	-	0,15	1,33	-
Zn	-	0,33	30,06	0,17	0,17	-	-
S	-	-	-	-	-	26,87	0,14
Sr	-	-	-	0,08	0,05	-	-
Si	-	-	-	-	-	-	1,61

Na Figura 3, é possível observar dois espectros complementares em relação à composição química semi-quantitativa referente à região I do orifício craniano com bisel interno (Figura 2a), nas faixas de

deteção Zn-As, Pb e Cr-Fe, ambos com intensidade média entre 0,0 a 0,002 cps/ua e faixa de varredura entre 0,0 e 13,0 keV, respectivamente.

Figura 3 – Espectros complementares a), b) de espectroscopia de raios X por energia dispersiva (EDX) com composição química elementar referente à região I do orifício craniano com bisel interno (Tabela 1)



Observa-se que os elementos que compõem o espectro são Pb, Fe e Mn, em

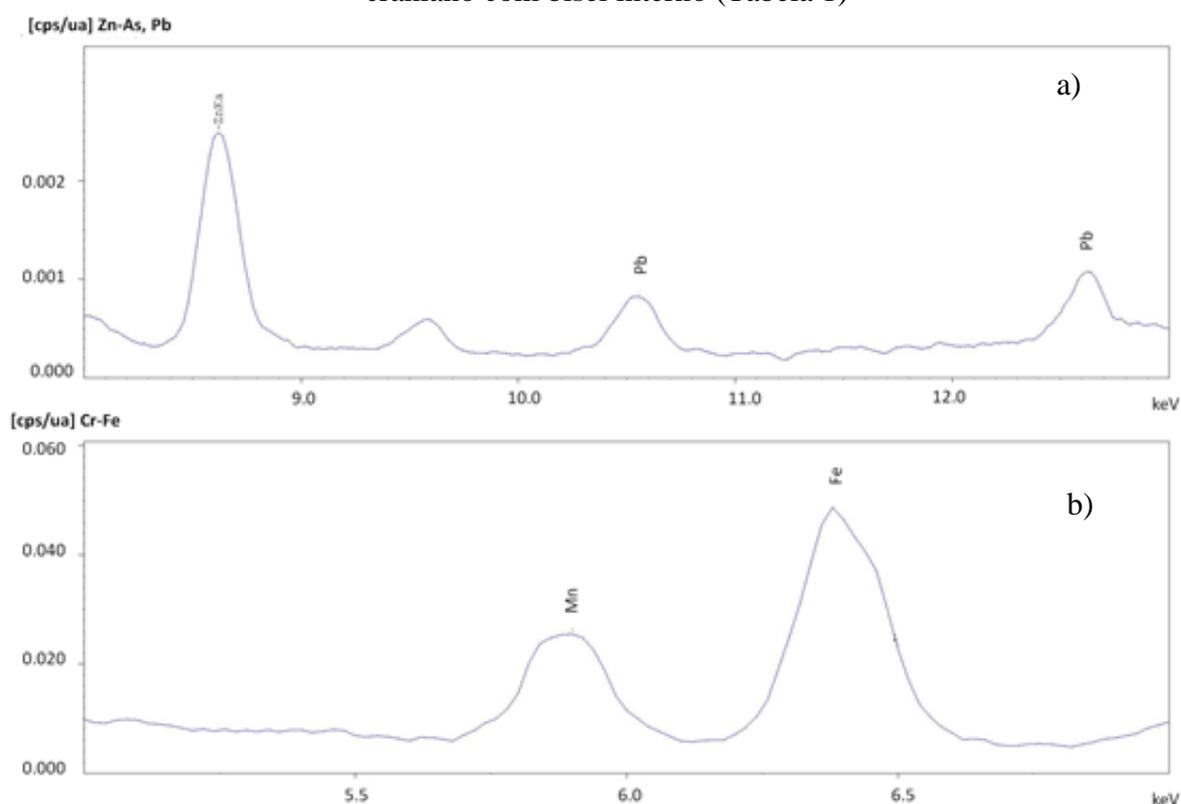
diferentes proporções, conforme indicado na Tabela 1. Esses elementos são

indicativos da presença de fragmentos metálicos derivados de projétil de arma de fogo, conforme relatado em trabalhos desenvolvidos anteriormente (HIRAMATSU, 2020; SARAPURA *et al.*, 2019; SHAH *et al.*, 2021; SHUKER e SADDA, 2010; SILVA *et al.*, 2006; STERZIK, 2016). Por outro lado, os demais elementos apresentados na tabela, particularmente o Ca, se refere à própria composição óssea do material, assim como para os teores de P (SCHOLEY e BURTON, 2017; KÜNZEL *et al.*, 2019; ROBISON e KARCHER, 2019; PRITCHARD *et al.*, 2020). Pode-se observar que algumas regiões não apresentaram teores de Ca e P conforme a Tabela 1 (regiões oblíquas/ biselamento interno I e III; região de orifícios/ biselamento externo I). A ausência de detecção destes elementos via EDX não os exclui da composição da

amostra, necessariamente, uma vez que para as regiões mencionadas, outros elementos químicos apresentaram maiores teores (Pb, Fe e Mn), reduzindo a sensibilidade do equipamento na detecção de valores menores de P e Ca.

Para complementar os resultados apresentados até o momento, pode-se observar na Figura 4, dois espectros complementares em relação à região III do orifício craniano com bisel interno (Figura 2a), nas faixas de detecção Cr-Fe e Zn-As, Pb, ambos sob intensidade média entre 0,0 e 0,002 cps/ua e faixa de varredura entre 0,0 e 13,0 keV, respectivamente. Similarmente ao que se observa na Figura 3, pode-se observar que os elementos que compõem o espectro são Pb, Fe e Mn, tendo o Zn como elemento adicional, também em diferentes proporções, conforme indicado na Tabela 1.

Figura 4 – Espectros complementares a), b) de espectroscopia de raios X por energia dispersiva (EDX) com composição química elementar referente à região III do orifício craniano com bisel interno (Tabela 1)



Além do elementos já observados na Figura 3, o Zn também possui estreita correlação com a composição química comumente encontrada em fragmentos metálicos provenientes de disparos de armas de fogo (ROSA, 2017; SANTOS *et al.*, 2013; SARAPURA *et al.*, 2019; SILVA *et al.*, 2006). Nas regiões do orifício craniano com bisel externo, observou-se a ocorrência de Ca, P, K, Cu, S e Si. Adicionalmente, a presença de Pb também pode ser atribuída ao tamanho do colimador utilizado na análise e ao fato da superfície da amostra ser irregular em relação à base do equipamento (APPOLONI, 2018; MARONEZE *et al.*, 2014; PATACA *et al.*, 2005; SANTOS *et al.*, 2013).

Um dos principais elementos observados nos resultados de EDX foi o Pb, que consiste em um dos principais componentes utilizados no processo de fabricação de munições, e geralmente é obtido de fundições secundárias deste elemento, onde a matéria-prima é derivada principalmente de baterias recicladas de automóveis e outras fontes, sendo fundidas em caldeiras com capacidade de 75 a 100 Mg (DUARTE, 2014; NASCIMENTO-DIAS *et al.*, 2017).

5 CONCLUSÕES

A técnica analítica de EDX mostrou-se rápida, não-destrutiva, útil no fornecimento de diversos elementos químicos e com custo-benefício viável, podendo ser utilizada com sucesso em diversas aplicações forenses. Com base na determinação da composição química de fragmentos metálicos encontrados no osso craniano em estudo, essa técnica também se mostrou eficiente na correlação com a composição química de projéteis de arma

de fogo, auxiliando na compreensão de causas de morte em investigações criminais.

Além disso, técnicas analíticas comumente disponíveis (absorção atômica, espectrometria de massa, espectrofotometria UV-vis, entre outras) também podem fornecer dados úteis em estudos de balística forense.

Dependendo do volume e diversidade dos dados, recomenda-se o uso da análise estatística no tratamento dos dados, que pode ser eficiente devido ao seu potencial de discriminação dos dados.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão das bolsas de estudo aos autores da pesquisa.

REFERÊNCIAS

- APPOLONI, C. R. Estudos em arqueometria e arte por metodologias nuclear-atômico-moleculares não destrutivas no Laboratório de Física Nuclear Aplicada da Universidade Estadual de Londrina. **Cadernos do LEPAARQ (UFPEL)**, v. 15, n. 30, p. 219, 2018.
- BROZEK-MUCHA, Z. On the prevalence of gunshot residue in selected populations - An empirical study performed with SEM-EDX analysis. **Forensic Science International**, v. 237, p. 46–52, 2014.
- BROZEK-MUCHA, Z. A study of gunshot residue distribution for close-range shots with a silenced gun using optical and

scanning electron microscopy, X-ray microanalysis and infrared spectroscopy. **Science and Justice**, v. 57, n. 2, p. 87–94, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.scijus.2016.11.004>>. Acesso em 15 jun 2023.

DANILCHENKO, S.; KALINKEVICH, A.; ZHOVNER, M.; et al. X-ray diffraction studies of a partially demineralized oriented cortical bone with the controlled depth of analysis. **Heliyon**, v. 9, n. 7, p. e17809, 2023.

DELANNOY, Y.; COLARD, T.; BECART, A.; et al. Typical external skull beveling wound unlinked with a gunshot. **Forensic Science International**, v. 226, n. 1–3, p. e4–e8, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.forsciint.2012.12.001>>. Acesso em 5 jun 2023.

DITRICH, H. Distribution of gunshot residues - The influence of weapon type. **Forensic Science International**, v. 220, n. 1–3, p. 85–90, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.forsciint.2012.01.034>>. Acesso em 16 jun 2023.

DUARTE, A. **Caracterização Elementar de Resíduos de Disparo de Armas de Fogo Gerados por Munição de Fabricação Brasileira**. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, p. 99, 2014. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/119121/000969848.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em 2 jun 2023.

DURÃO, C. H.; MACHADO, M. P. S. Lesões típicas e seus epônimos em balística forense. **Revista Brasileira de Odontologia Legal – RBOL**, v. 2, n. 2, p. 48–62, 2015.

FRENCH, J.; MORGAN, R. An experimental investigation of the indirect transfer and deposition of gunshot residue: Further studies carried out with SEM-EDX analysis. **Forensic Science International**,

v. 247, p. 14–17, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.forsciint.2014.10.023>>. Acesso em 14 jun 2023.

GARG, A.; MANDAL, A.; AGGARWAL, I.; et al. Transcranial lateral perforating gunshot injury through skull base presenting without residual damage: A fortunate survivor. **Chinese Journal of Traumatology**, v. 24, n. 3, p. 183–186, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.cjtee.2021.02.006>>. Acesso em 1 jun 2023.

GOUDSMITS, E.; SHARPLES, G. P.; BIRKETT, J. W. Recent trends in organic gunshot residue analysis. **TrAC - Trends in Analytical Chemistry**, v. 74, p. 46–57, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.trac.2015.05.010>>. Acesso em 5 jun 2023.

HALLETT, J.; STOLK, M.; COOK, M.; KIRKBRIDE, K. P. Examination of gunshot residue arising from shotgun cartridges containing steel, bismuth or tungsten pellets. **Forensic Science International**, v. 306, p. 110096, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2019.11.0096>>. Acesso em 25 jun 2023.

HIRAMATSU, T. Trauma Case Reports Bullet fragments spontaneously migrating in opposite directions after a cardiac arrest treated with extracorporeal cardiopulmonary resuscitation following a gunshot wound to the head: A case report. **Trauma Case Reports**, v. 28, p. 100330, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.tcr.2020.100330>>. Acesso em 22 jun 2023.

KÜNZEL, S.; BENNEWITZ, J.; RODEHUTSCORD, M. Genetic parameters for bone ash and phosphorus utilization in an F2 cross of Japanese quail. **Poultry Science**, v. 98, n. 10, p. 4369–4372, 2019.

- LAMBERT, M.; COURTAUD, P.; LE BOURDONNEC, F. X.; et al. Characterising the pigment on a Mesolithic cranium from Corsica using ion beam analysis. **Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms**, v. 529, n. January 2021, p. 24–28, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.nimb.2022.08.003>>.
- MARONEZE, M. M.; ZEPKA, L. Q.; VIEIRA, J. G.; QUEIROZ, M. I.; JACOB-LOPES, E. A tecnologia de remoção de fósforo: Gerenciamento do elemento em resíduos industriais. **Revista Ambiente e Agua**, v. 9, n. 3, p. 445–458, 2014.
- MELO, V. F.; TESTONI, S. A.; DAWSON, L.; DE LARA, A. G.; DA SILVA SALVADOR, F. Can analysis of a small clod of soil help to solve a murder case? **Science and Justice**, v. 59, n. 6, p. 667–677, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.scijus.2019.06.008>>. Acesso em 4 jun 2023.
- MIRANDA, K. L.; ORTEGA-OJEDA, F. E.; GARCÍA-RUÍZ, C.; MARTÍNEZ, P. S. Shooting distance estimation based on gunshot residues analyzed by XRD and multivariate analysis. **Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems**, v. 193, 2019.
- DO NASCIMENTO-DIAS, B. L.; OLIVEIRA, D. F.; DOS ANJOS, M. J. A utilização e a relevância multidisciplinar da fluorescência de raios X. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 39, n. 4, 2017.
- ORTEGA-OJEDA, F. E.; TORRE-ROLDÁN, M.; GARCÍA-RUIZ, C. Short wave infrared chemical imaging as future tool for analysing gunshot residues patterns in targets. **Talanta**, v. 167, p. 227–235, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.talanta.2017.02.020>>. Acesso em 8 jun 2023.
- PASSOS, L. F.; BERNEIRA, L. M.; POLETTI, T.; et al. Evaluation and characterization of algal biomass applied to the development of fingermarks on glass surfaces. **Australian Journal of Forensic Sciences**, v. 53, n. 3, p. 337–346, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/00450618.2020.1715478>>. Acesso em 29 jun 2023.
- PATACA, L. C. M.; BORTOLETO, G. G.; BUENO, M. I. M. S. Determinação de arsênio em águas contaminadas usando fluorescência de raios-X por energia dispersiva. **Química Nova**, v. 28, n. 4, p. 579–582, 2005.
- PESCHEL, O.; SZEIMIES, U.; VOLLMAR, C.; KIRCHHOFF, S. Postmortem 3-D reconstruction of skull gunshot injuries. **Forensic Science International**, v. 233, n. 1–3, p. 45–50, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.forsciint.2013.08.012>>. Acesso em 22 jun 2023.
- PRANDEL, L. V.; MELO, V. F.; TESTONI, S. A.; et al. Spectroscopic techniques applied to discriminate soils for forensic purposes. **Soil Research**, v. 58, n. 2, p. 151–160, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1071/SR19066>>. Acesso em 22 jun 2023.
- PRITCHARD, A.; ROBISON, C.; NIELSEN, B. D. Research Note: Bone ash from immature broilers correlates to bone mineral content calculated from quantitative computed tomography scans. **Poultry Science**, v. 99, n. 9, p. 4162–4165, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.psj.2020.05.02>>. Acesso em 22 jun 2023.
- REIS, E. L. T.; SARKIS, J. E. S.; RODRIGUES, C. Identificação de resíduos de disparos de armas de fogo por meio da técnica de espectrometria de massas de alta

resolução com fonte de plasma indutivo. **Química Nova**, v. 27, n. 3, p. 409–413, 2004.

ROBISON, C. I.; KARCHER, D. M. Analytical bone calcium and bone ash from mature laying hens correlates to bone mineral content calculated from quantitative computed tomography scans. **Poultry Science**, v. 98, n. 9, p. 3611–3616, 2019. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.3382/ps/pez165>>. Acesso em 10 jun 2023.

ROSA, B. N. **Balística forense: análise de resíduos de armas de fogo**, 2017. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Pelotas.

SANTOS, E. S.; GAMA, E. M.; FRANÇA, R. S.; SOUZA, A. S.; MATOS, R. P. Espectrometria de Fluorescência de Raios-X na Determinação de Espécies Químicas. **Enciclopédia Biofera**, v. 9, n. 17, p. 3413–3432, 2013. Disponível em: <<http://www.conhecer.org.br/enciclop/2013b/MULTIDISCIPLINAR/espectrometria.pdf>>. Acesso em 14 jun 2023.

SARAPURA, P.; GONZALEZ, M. F.; GONZALEZ, F.; et al. Application of total X-Ray fluorescence to gunshot residue determination. **Applied Radiation and Isotopes**, v. 153, p. 108841, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2019.108841>>. Acesso em 7 jun 2023.

SHAH, V. N.; PATEL, S.; NUNEZ, V.; SARGI, Z. Otolaryngology Case Reports Chronic sinonasal symptoms due to retained bullet fragments in the skull base. **Otolaryngology Case Reports**, v. 19, p. 100290, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.xocr.2021.100290>>. Acesso em 14 jun 2023.

SCHOLEY, D. V.; BURTON, E. J. The effect of bone choice on quantification of mineralization in broiler chickens up to 6

weeks of age. **Journal of Applied Poultry Research**, v. 26, n. 4, p. 485–490, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.3382/japr/pfx020>>. Acesso em 52 jun 2023.

SHUKER, S. T.; SADDA, R. Craniomaxillofacial Falling Bullet Injuries. **YJOMS**, v. 68, n. 7, p. 1593–1601, 2010. Elsevier Inc. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.joms.2009.06.039>>. Acesso em 26 jun 2023.

SILVA, R. M. DA C. E.; NASCIMENTO FILHO, V. F. DO; APPOLONI, C. R.; PEREZ, C. A. Fluorescência de Raios X aplicada a amostras arqueológicas. **Revista do Museu de Arqueologia e Etnologia**, n. 15–16, p. 371, 2006.

STERZIK, V. Bullet fragmentation preceding a contour shot: case study and experimental simulation. **International Journal of Legal Medicine**, p. 25–29, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s00414-016-1462-9>>. Acesso em 9 jun 2023.

TESTONI, S. A.; MELO, V. F.; DAWSON, L. A.; DA SILVA SALVADOR, F. A.; KUNII, P. A. Validation of a standard operating procedure (SOP) for forensic soils investigation in Brazil. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 43, 2019.

YIN, N.; WANG, Y.; CAO, Y.; et al. A biodegradable nanocapsule for through-skull NIR-II fluorescence imaging/magnetic resonance imaging and selectively enhanced radio-chemotherapy for orthotopic glioma. **Nano Today**, v. 46, p. 101619, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.nantod.2022.101619>>.

WIJAYA, A. T.; AYUSTA, I. M. D.; NIRYANA, I. W. Air gun wound: bihemispheric penetrating brain injury in a paediatric patient. **The British Institute of**

Radiology, Case Reports, Journal Home.
v. 5, p. 20180070, 2019. Disponível em:
<https://doi.org/10.1259/bjrcr.20180070>.
Acesso em 30 jun 2023.

ZHU, X.; BLANCO, E.; BHATTI, M.;
BORRION, A. Jo ur na l P re of. **Science
of the Total Environment**, p. 143747,
2020. The European Ceramic Society.
Disponível em:
<<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143747>>.