

ANÁLISE DE LESÕES ÓSSEAS COM AUXÍLIO DE MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV) PARA DETECÇÃO DE ELEMENTOS METÁLICOS E DETERMINAÇÃO DE CAUSA MORTIS.

ANALYSIS OF BONE LESIONS BY SCANNING ELECTRON MICROSCOPY (SEM) FOR THE DETECTION OF METALLIC ELEMENTS AND DETERMINATION OF THE CAUSE OF DEATH.

Marcos Tadeu Ellery Frota¹

Sebastião Lacerda de Lima Filho²

Manoel Odorico de Morais Filho³

RESUMO: A presente pesquisa tem a intenção de sinalizar para as possibilidades investigativas de lesões ósseas a partir da utilização do microscópio eletrônico de varredura (MEV), que é um dos aparelhos disponíveis para análises forense de propriedade do Laboratório de Química Forense da PEFOCE. Foi analisado um fragmento de costela em exame de ossada. Nesse fragmento observou-se uma lesão circunvalada na borda inferior, muito provavelmente associada com disparo de arma de fogo. Duas outras amostras também foram coletadas para outros processos analíticos e comparação dos dados verificados. Pesquisas dessa natureza no campo da Antropologia Forense também poderão servir de suporte para investigações semelhantes em contextos de trabalhos de Arqueologia Forense ou da Bioarqueologia de maneira mais ampla em diferentes estados do nordeste brasileiro.

Palavras-chave: Antropologia Forense. Bioarqueologia Forense. Análises comparativas de amostras. Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).

1 Médico legista e antropólogo forense. Responsável pelo Setor de Antropologia Forense da Coordenadoria de Medicina Legal (COMEL), Perícia Forense do Estado do Ceará (PEFOCE). Doutorando em Medicina Translacional (PPGMDT) no NPDM, UFC. Professor universitário.

2 Dr. em Arqueologia (UFS, Brasil). Pós-doutor em Antropologia (IIHS-UV, México). Bacharelado em Biomedicina pelo Centro Universitário Leonardo Da Vinci e Doutorando em Medicina Translacional (PPGMDT) no NPDM, Universidade Federal do Ceará – UFC.

3 Dr. em Oncologia (University of Oxford – UK). Orientador de pesquisa. Coordenador do Núcleo de Pesquisa e Desenvolvimento de Medicamentos (NPDM) e do Programa de Pós-Graduação em Medicina Translacional (PPGMDT), Universidade Federal do Ceará. Pesquisador 1A CNPq.



ABSTRACT

The aim of this research is to highlight the possibilities of investigating bone injuries using the Scanning Electron Microscope (SEM), which is one of the instruments available for forensic analysis at the PEFOCE Forensic Chemistry Laboratory. A rib fragment was analyzed in a bone examination. This fragment showed a circumvallate lesion on the lower edge, most likely associated with a gunshot wound. Two other samples were also taken for further analysis and comparison of data. Research of this type in the field of forensic anthropology could also serve as support for similar investigations in the context of forensic archaeology or bioarchaeology in general in different states of northeastern Brazil.

Keywords: Forensic anthropology. Forensic bioarchaeology. Comparative analysis of samples. Scanning Electron Microscopy (SEM).

INTRODUÇÃO

Antropologia forense é uma subdisciplina da antropologia física (ou biológica) que aplica técnicas e conhecimentos antropológicos ao contexto legal. Os antropólogos forenses são frequentemente chamados para ajudar na identificação de restos humanos e para determinar causas e circunstâncias da morte em casos criminais ou de desastres em massa (BYERS, 2016). Sua função é de extrema importância para esclarecimentos e resolução de situações em que outros campos de análises da perícia forense não alcançam ou não fornecem dados substanciais expressivos.

Para além dos procedimentos realizados em campo (*in situ*), muitos antropólogos forenses têm conseguido dados promissores a partir das análises laboratoriais de material de origem humana, especialmente ossadas ou corpos em diferentes estados de conservação. Por se tratar de uma ciência multidisciplinar, seu campo de atuação termina sendo muitos espaços, especialmente em contexto de investigações criminais (PEREIRA & MENDONÇA, 2020). Para além desse papel no campo jurídico-criminal, a colaboração entre a antropologia forense e arqueologia, por exemplo, pode fornecer dados proveitosos para estudos de contextos distintos e com impactos diretos do ponto de vista histórico e social. Assim, é possível alinhar os conceitos e procedimentos metodológicos e técnicos da antropologia forense com as pesquisas, por exemplo, no campo da bioarqueologia forense (CORREIA, 2023).

Em se tratando de uma das suas aplicações, considera-se que a antropologia forense em análises de laboratório é uma parte essencial do trabalho de um antropólogo forense. Nestes espaços, os peritos nesta área, realizam uma variedade de análises detalhadas e científicas em restos humanos para ajudar na identificação e na determinação de causas e circunstâncias da morte, refletindo sobre suas implicações do ponto de vista legal. Por exemplo, durante a realização do Exame Osteológico, em que se pode verificar a existência de traumas (trauma antemortem, peri-mortem e post-mortem), e com isso conseguir vários dados para interpretação da circunstância de vida e morte desse(s) indivíduo(s) (LOGRADO & LENHARO, 2009; BYERS, 2016; CORREIA, 2023).



Portanto, a fim de fornecer suporte para ampliação de pesquisas neste campo de atuação, esta investigação busca utilizar equipamentos tecnológicos a fim de fornecer dados complementares aos exames realizados em ossadas de diferentes tipos e situações. Uma vez que a presença de lesões em ossadas, são utilizados eventualmente em processos que visam identificar compostos de elementos metálicos e outros elementos químicos que podem ter incidido e gerado lesões. A análise da lesões pela microscopia eletrônica de varredura (MEV) de fragmentos ósseos, encontrados em corpos esqueletizados, pode auxiliar na elucidação da causa mortis em exames antropológicos e arqueológicos, ampliando o espaço de atuação e construindo pontes entre ambos os campos de conhecimento científico e seu retorno do ponto de vista social e legal.

OBJETIVO, METODOLOGIA E PROCEDIMENTO OPERACIONAL

Muitos corpos são recebidos e analisados no setor de Antropologia Forense (AF) da PEFOCE. Com isso, dados relevantes são obtidos e tais informações do ponto de vista físico (alinhado com o suporte do DNA), terminam auxiliando na resolução de crimes e de contextos relacionados e diversos, por todo o estado do Ceará. Pesquisas cooperativas com o auxílio dos avanços tecnológicos terminam sendo de grande valia para refinamento das análises e coerência nos laudos. Dessa forma, objetiva-se aqui, demonstrar o uso da microscopia eletrônica de varredura (MEV) na avaliação de corpos esqueletizados com suspeita de lesões por projetis de arma de fogo e verificar a possibilidade de construção de dados comparativos a partir de novas coletas de amostras realizadas em laboratório.

Metodologicamente, é importante esclarecer que as atividades de antropologia forense, começam com a chegada das espécimes esqueletizadas e abertura do procedimento de cadeia de custódia, a partir disso se inicia as etapas de limpeza e preparação dos ossos para o exame forense. Em seguida, realizam-se um inventário esquelético completo, seguido de análises detalhadas para determinar sexo, idade, ancestralidade e estatura. Lesões ou traumas nos ossos são examinados para determinar sua natureza e possível causa. Sempre que possível e se necessário, amostras de DNA são extraídas para identificação genética. Finalmente, todos os achados são exaustivamente documentados em relatório pericial detalhado (laudo técnico-científico), acompanhado de fotografias e desenhos, para ser apresentado às autoridades legais e dar prosseguimento aos protocolos criminais (judiciais).

Do ponto de vista de aplicação da microscopia eletrônica de varredura (MEV), sua relevância é justamente pela capacidade do MEV em criar e ampliar imagens em até 100.000 vezes por meio da incidência de um feixe de elétrons sobre a amostra, gerando imagens com excelente resolução. Seu funcionamento consiste em utilizar um feixe de elétrons de pequeno diâmetro para varrer a superfície da amostra, ponto a ponto, produzindo imagens com caráter tridimensional (OLIVEIRA & SOUZA, 2020). Também, entre a importância das suas leituras e resultados, destacamos que suas imagens de alta resolução, relacionadas a morfologia da amostra, permite observar e analisar as características microestruturais de objetos sólidos e elementos

deixados na amostra. Devido sua versatilidade é amplamente empregado em materiais poliméricos, metálicos, cerâmicos, nanofibras e em materiais biológicos (MACHADO, CARMEM & DEDAVID, 2007, pg. 16; SILVA & SANTOS, 2017, pg. 22). O microscópio eletrônico de varredura utilizado como suporte para tais investigações se encontra localizado no setor de Química Forense do Centro de Perícia Forense do Estado do Ceará (Pefoce), numa sala vizinha ao setor de Antropologia Forense da mesma instituição (Fig. 01).

FIGURA 01: VISTA GERAL DO APARATO TECNOLÓGICO MEV DA PEFOCE.



CRÉDITO DA IMAGEM: AYRLES BRANDÃO, PERITA DO LAB. QUÍMICA FORENSE DA PEFOCE, 2024.

É relevante esclarecer que se realizou análises para identificar os tipos de resíduos presentes nas amostras enviadas para análise a partir do MEV. Neste primeiro momento, um orifício presente num fragmento de costela. A técnica de análise utilizada para determinar a composição química dos resíduos foi a microscopia eletrônica de varredura (MEV) acoplada com sistema de análise de raios-X por espectrometria de energia dispersiva (EDS). As análises foram realizadas no microscópio eletrônico de varredura, marca FEI, modelo QUANTA 200 3D – Dual Beam, do Laboratório de Química Forense da Pefoce. Posterior a análise dos resíduos presentes, foi utilizado o “software” interno da Pefoce/INCA para manejo das imagens e interpretação dos prováveis resultados.

Dessa maneira, destaca-se que se trata de um estudo de caso inovador conectando a Antropologia à MEV, realizado em 2023. Mas que já apresenta outras amostras coletadas e enviadas para análises desse



tipo também no presente ano de 2024. A partir dos resultados obtidos, a ideia é verificar a aplicação em contextos de arqueologia forense ou de bioarqueologia de maneira geral, especialmente nas análises de remanescentes humanos de etnias indígenas pesquisadas e escavadas no próprio estado do Ceará, mas também em outros estados fronteiriços, a citar Paraíba e Rio Grande do Norte, por exemplo.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Por meio de análises feitas com o uso de um microscópio eletrônico de Varredura, alguns dados puderam ser coletados e verificados. Do ponto de vista quantitativo as amostras ainda são em pequeno número, mas promissoras dado o potencial de espécimes em que se pode realizar a coleta e análise desse tipo de lesões e vestígios no material osteológico. Do ponto de vista qualitativo, o trabalho se configura como extremamente produtivo pela consistência das análises, procedimentos metodológicos e suportes operacionais. Dados complementares e interpretações de novos conjuntos de amostras serão realizados para verificar a coerência da pesquisa. Portanto, algumas observações serão apresentadas:

AMOSTRA COLETADA E ANALISADA (2023)

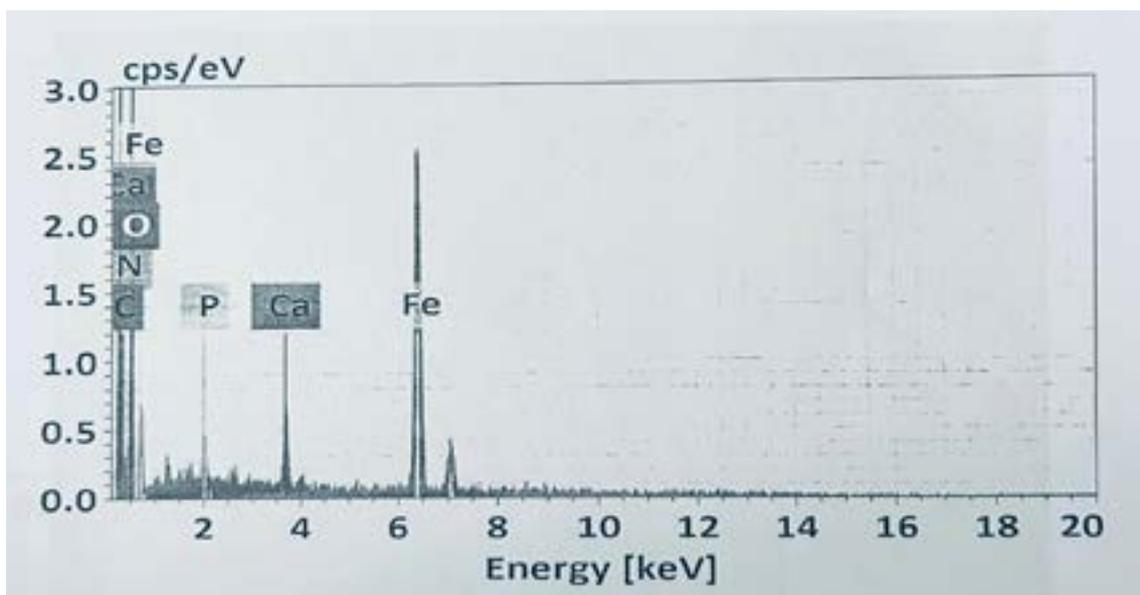
Foi analisado um fragmento de costela em exame de ossada. Nesse fragmento observou-se uma lesão circunvalada na borda inferior. Surgiu o seguinte questionamento: tratava-se de lesão por projétil de arma de fogo ou lesão provocada por fauna cadavérica/degradação óssea pelo tempo? (Fig. 02). A costela, então, foi levada para exame através da MEV. Com a análise concluída, foram descobertos a presença de liga de ferro, zinco, níquel e cobre (Fig 03, 04,05), compatível com a utilizada nos componentes do projétil (camisa e núcleo), ficando assim corroborada a hipótese da lesão por PAF .

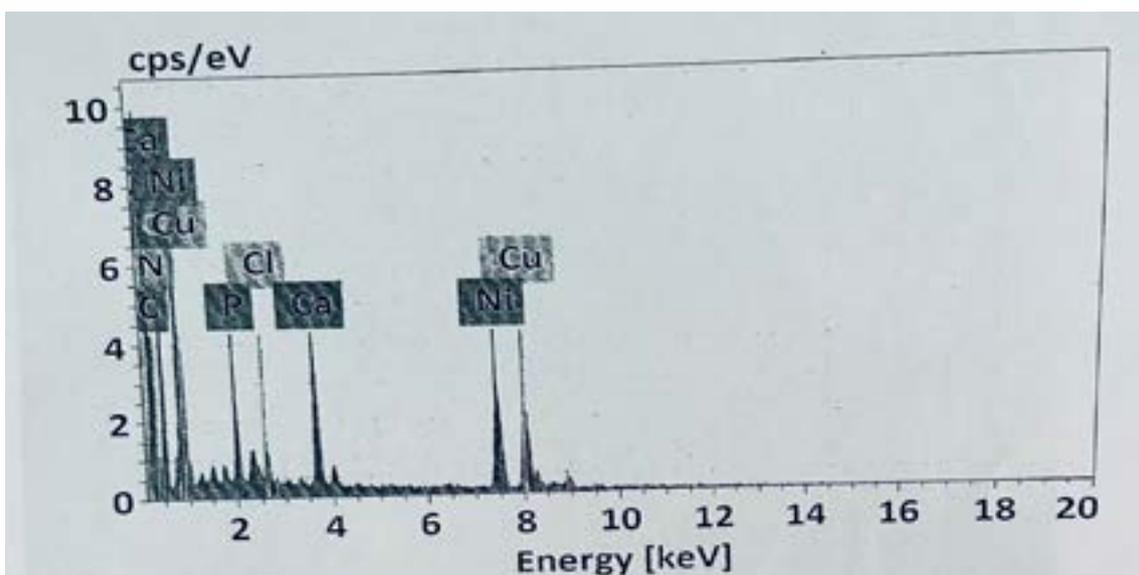
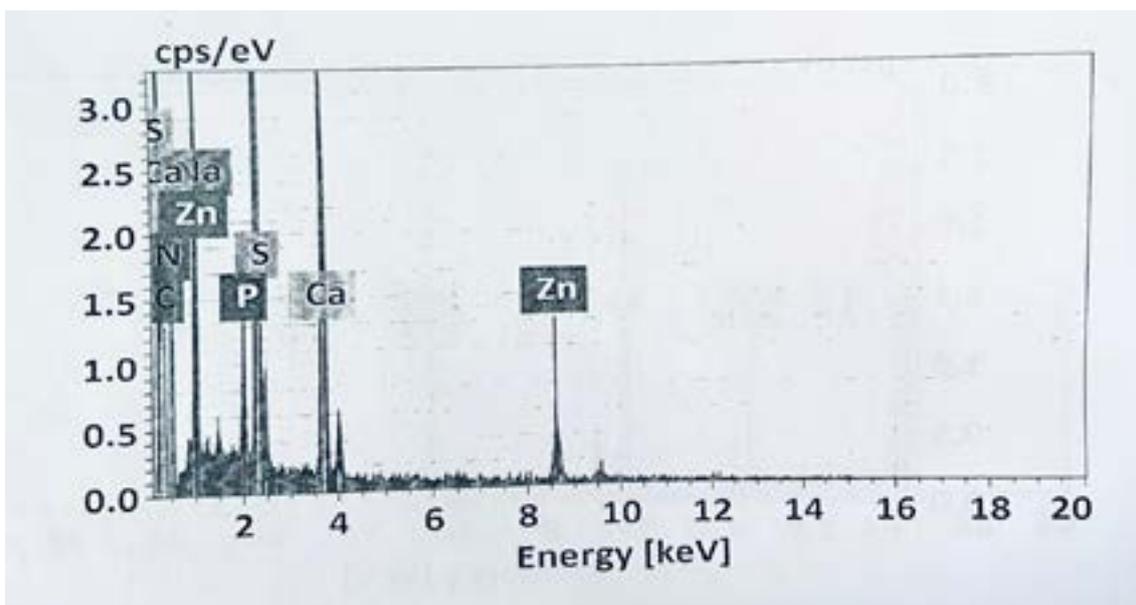
FIGURA 02: VISTA COMPLETA DA LESÃO DE COSTELA.



CRÉDITO DA IMAGEM: BANCO DE DADOS PERICIAL DO SETOR DE ANTROPOLOGIA FORENSE (AF) DA PEFOCE. ANO: 2023.

FIGURA 03, 04 E 05: ANÁLISES E RESULTADOS OBTIDOS A PARTIR DO MEV PARA A AMOSTRA.





CRÉDITO DA IMAGEM: BANCO DE DADOS PERICIAL DO SETOR DE ANTROPOLOGIA FORENSE (AF) DA PEFUCE. ANO: 2023.

3.2 AMOSTRAS COLETADAS PARA ANÁLISES SEMELHANTES (2024)

Com o intuito de ampliar análises dessa natureza e tendo em vista a possibilidade de comparação dos resultados obtidos nas amostras de 2023 com outras do presente ano, foi coletado e enviado para análise dois fragmentos de ossos: um correspondendo a uma possível lesão causada por orifício de bala no fêmur direito e um fragmento de escápula direita. O objetivo será – após as análises – verificar se a causa morte desse indivíduo está associada a lesões do tipo projétil de arma de fogo (PAF) e se condizem com as lesões verificadas durante o exame cadavérico.



Para compreensão dos procedimentos operacionais de coleta das amostras, destacamos a escolha do indivíduo, separação do material osteológico condizente com o tipo de investigação, corte das partes para verificação no MEV, catalogação dos dois fragmentos, levantamento fotográfico das amostras e dos procedimentos operacionais realizados.

Tais etapas não só visam a coerência na coleta, mas garante ainda o rigor científico nesse tipo de coleta e envio de amostras. Todas as atividades foram realizadas no setor de Antropologia Forense (AF) da Pefoce e contou com a participação direta do antropólogo forense chefe, um assistente de necropsia, um arqueólogo de formação e estudante de biomedicina (estagiário no laboratório) e a secretaria do setor para fins de documentação e demais registros legais.

A ideia é desenvolver procedimentos operacionais que sirvam para interpretação dos dados atuais de espécimes humanas, mas que também atue no suporte para aplicação dessa metodologia em contextos também mais antigos, neste caso relacionado à realidade da pesquisa arqueológica forense ou em estudos de bioarqueologia de períodos históricos e também pré-coloniais, como os vários momentos de violação de direitos humanos já denunciados e documentados no contexto brasileiro.

Pesquisas dessa natureza têm crescido no mundo e têm fornecido informações relevantes para compreensão de diferentes momentos do passado recente ou histórico mundial, não sendo diferente no caso brasileiro. Certamente, a interpretação dos dados na antropologia forense, e neste caso especialmente a junção de campos de saberes e suportes tecnológicos, deve ser visto como um processo complexo que exige conhecimento técnico, atenção aos detalhes e a aplicação rigorosa de métodos científicos, sejam na coleta dos dados, ou ainda na interpretação dos resultados. A precisão e a metodologia são cruciais para garantir que as conclusões sejam válidas e possam ser usadas efetivamente em contextos legais. Como é o caso relatado aqui a partir das diferentes amostras coletas e já parcialmente analisadas pelo MEV (Figuras 05, 06 e 07).

FIGURA 05, 06 E 07: DIFERENTES PROCEDIMENTOS DE ESCOLHA, COLETA, LEVANTAMENTO FOTOGRÁFICO E DESCRITIVO E TRANSFERÊNCIA DAS AMOSTRAS PARA ANÁLISES NO MEV.



CRÉDITO DA IMAGEM: BANCO DE DADOS PERICIAIS DO SETOR DE ANTROPOLOGIA FORENSE (AF) DA PEFOCE. ANO: 2023.

FIGURA 08, 09, 10, 11, 12 E 13: DIFERENTES PROCEDIMENTOS DE ESCOLHA, COLETA, LEVANTAMENTO FOTOGRÁFICO E DESCRITIVO E TRANSFERÊNCIA DAS AMOSTRAS PARA ANÁLISE NO MEV.



CRÉDITO DA IMAGEM: BANCO DE DADOS PERICIAIS DO SETOR DE ANTROPOLOGIA FORENSE (AF) DA PEFUCE. ANO: 2023.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A realização de pesquisas do ponto de vista da antropologia forense é vital para a justiça, permitindo a identificação de vítimas e a resolução de casos criminais complexos através de métodos científicos rigorosos e detalhados, alinhando os mais diferentes suportes tecnológicos e *expertises* para resolução de



situações. O que se constata é a possibilidade de inclusão de novos dados e análises a partir da utilização de diferentes suportes da perícia forense de maneira mais ampla. Neste sentido, é perceptível que as análises com o microscópio eletrônico de varredura (MEV) atua como uma ferramenta poderosa na antropologia forense, oferecendo uma ampliação e uma resolução muito superiores às obtidas com microscópios ópticos convencionais no que se refere às análises do ponto de vista macro e micro. O MEV, portanto, fornecerá informações e detalhes minuciosos das amostras ósseas verificadas, assim como poderá propor interpretações de outros materiais biológicos ou não biológicos, que podem fornecer informações críticas em investigações forenses. Sua aplicação no campo das investigações realizadas por parte da bioarqueologia também parece ser promissora ao passo que ambos os campos científicos trabalham em conjunto para resolução de eventos e momentos.

Em se tratando da amostra de 2023, a detecção de liga de chumbo a partir da MEV foi muito eficiente e, portanto, promissora como técnica importante para a identificação de lesões provocadas por objetos metálicos, especialmente por projetivos de armas de fogo e suas implicações no campo das investigações PAF., Sendo assim, deve ser considerado extremamente útil em casos de difícil visualização de feridas por facas, pedras, lanças ou projetis de arma de fogo, principalmente, no campo da Antropologia, mas que também não invalida sua constatação em conjuntos de espécimes de caráter bioarqueológico.

Por fim, é imprescindível a continuação de exames dessa natureza e a verificação dos resultados a partir de análises quantitativas e qualitativas das amostras, isso por si mesmo atuará na busca e na realização de uma série de outros casos que corrobora a contribuição da MEV nos exames de corpos esqueletizados. Confirmando sua aplicação e eficiência no campo da antropologia forense, acredita-se que resultados promissores também poderão ser levantados a partir do viés arqueológico investigativo. As possibilidades são “gatilhos” para junção de novos contextos, espécimes e modelos de pesquisa atuantes de forma coerente e robusta no saber e no fazer científico.

REFERÊNCIAS

BYERS, Steven N., Introduction to Forensic Anthropology. Routledge, Londres – UK. 5ª Edição, 2016.

CORREIA, Maria Ana. Arqueologia e Antropologia Forense em Contextos de Violência Política. Revista de Arqueologia – SAB: Volume 36 No. 2 maio – agosto, 2023.

LOGRADO, André Lima. & LENHARO, Sara Lais Rahal. Microscopia eletrônica de varredura aplicada na busca de vestígios de projétil de arma de fogo em material humano exumado. INC – Pará, 2009.

MACHADO, G.; CARMEM, I. G.; DEDAVID, B. A. Microscopia Eletrônica de Varredura: Aplicações e preparação de amostras. ed. Rio Grande do Sul: Editora EDIPUCRS, 2007.



OLIVEIRA, A. P., & SOUZA, L. M. A Contribuição da Microscopia Eletrônica de Varredura na Identificação de Fragmentos Ósseos em Casos de Desastres e Catástrofes. *Forense e Investigação Científica*, 7(1), 45-56, 2019.

PEREIRA, J. C., MENDONÇA, S. M. A Importância da Integração entre Antropologia Forense e Microscopia Eletrônica de Varredura para a Identificação de Indivíduos em Casos Complexos. *Revista de Ciências Forenses*, 8(2), 78-91, 2020.

SILVA, M. F., & SANTOS, R. N. Aplicações da Microscopia Eletrônica de Varredura na Análise de Traços Microscópicos em Vestígios Ósseos Humanos em Contexto Forense. *Revista de Antropologia Forense*, 4(2), 85-98, 2017.

AGRADECIMENTOS:

Os autores agradecem ao Centro de Perícia Forense do Estado do Ceará (PEFOCE), especialmente a Coordenadoria de Medicina Legal (COMEL), ao pessoal do setor de Antropologia Forense da instituição pelo suporte e por fornecer o ambiente estrutural para realização dessas pesquisas cooperativas, em especial aos profissionais Nunes e Alice. Agradece, ainda, ao corpo de peritos forenses do Laboratório de Química Forense pelo apoio e cordialidade em realizar as análises das amostras no MEV, especialmente a Ayrles Brandão e David Q. de Freitas. Estendem os agradecimentos ao Laboratório de Bioarqueologia Translacional (LABBAT) e ao Programa de Pós-Graduação em Medicina Translacional (PPGMDT), do Núcleo de Pesquisa e Desenvolvimento de Medicamentos (NPDM), Universidade Federal do Ceará (UFC). Por fim, é relevante destacar o suporte da Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP) pela bolsa de doutorado do segundo autor desta pesquisa. Tal financiamento permite sua participação em diferentes projetos de cooperação científica em caráter local, regional, nacional e também no âmbito internacional.