

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
Faculdade de Ciências e Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção

THAÍS DE SOUSA RUAS

**Análise de balística terminal em pele suína: experimentação
com pistolas 9mm**

APARECIDA DE GOIÂNIA

2025



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO (TECA) PARA DISPONIBILIZAR VERSÕES ELETRÔNICAS DE TESES

E DISSERTAÇÕES NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFG), regulamentada pela Resolução CEPEC nº 832/2007, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a [Lei 9.610/98](#), o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou download, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

O conteúdo das Teses e Dissertações disponibilizado na BDTD/UFG é de responsabilidade exclusiva do autor. Ao encaminhar o produto final, o autor(a) e o(a) orientador(a) firmam o compromisso de que o trabalho não contém nenhuma violação de quaisquer direitos autorais ou outro direito de terceiros.

1. Identificação do material bibliográfico

Dissertação Tese Outro*: _____

*No caso de mestrado/doutorado profissional, indique o formato do Trabalho de Conclusão de Curso, permitido no documento de área, correspondente ao programa de pós-graduação, orientado pela legislação vigente da CAPES.

Exemplos: Estudo de caso ou Revisão sistemática ou outros formatos.

2. Nome completo do autor

Thaís de Sousa Ruas

3. Título do trabalho

ANÁLISE DE BALÍSTICA TERMINAL EM PELE SUÍNA: EXPERIMENTAÇÃO COM PISTOLAS 9MM

4. Informações de acesso ao documento (este campo deve ser preenchido pelo orientador)

Concorda com a liberação total do documento SIM NÃO¹

[1] Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. Após esse período, a possível disponibilização ocorrerá apenas mediante:

a) consulta ao(a) autor(a) e ao(a) orientador(a);

b) novo Termo de Ciência e de Autorização (TECA) assinado e inserido no arquivo da tese ou dissertação.

O documento não será disponibilizado durante o período de embargo.

Casos de embargo:

- Solicitação de registro de patente;
- Submissão de artigo em revista científica;
- Publicação como capítulo de livro;
- Publicação da dissertação/tese em livro.

Obs. Este termo deverá ser assinado no SEI pelo orientador e pelo autor.



Documento assinado eletronicamente por **Fernanda Christina Teotonio Dias Troysi, Professora do Magistério Superior**, em 09/04/2025, às 15:45, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Thais De Sousa Ruas, Discente**, em 15/04/2025, às 18:07, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **5301733** e o código CRC **6F1EEC49**.

THAÍS DE SOUSA RUAS

**Análise de balística terminal em pele suína: experimentação
com pistolas 9mm**

Dissertação apresentado ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, da Faculdade de Ciências e Tecnologia, da Universidade Federal de Goiás, Campus Aparecida de Goiânia, como requisito parcial para obtenção do título de Mestra em Engenharia de Produção.

Área de Concentração: Gestão Estratégica e Operacional de Produção

Linha de Pesquisa: Gerenciamento de Sistemas Produtivos

Orientadora: Profa. Dra. Fernanda C. T. Dias Troysi.

Coorientadora: Profa. Dra. Marina Pacheco Miguel.

Aparecida de Goiânia

2025

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UFG.

Ruas, Thaís de Sousa
ANÁLISE DE BALÍSTICA TERMINAL EM PELE SUÍNA:
[manuscrito] : EXPERIMENTAÇÃO COM PISTOLAS 9MM / Thaís de
Sousa Ruas. - 2025.
CCXXI, 221 f.: il.

Orientador: Profa. Dra. Fernanda Christina Teotônio Dias Troysi; co orientadora Dra. Marina Pacheco Miguel.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Goiás, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, Goiânia, 2025.

Bibliografia. Anexos.

Inclui siglas, gráfico, tabelas, lista de figuras, lista de tabelas.

1. Balística terminal. 2. Munição não-tóxica. 3. Traumatismo por arma de fogo. 4. Análise de lesões em pele suína. 5. Estimativa de distância de tiro. I. Troysi, Fernanda Christina Teotônio Dias, orient. II. Título.

CDU 658.5



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS

FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Ata nº 56 da sessão de Defesa de Dissertação de **Thaís de Sousa Ruas**, que confere o título de Mestra em em **Engenharia de Produção**, na área de concentração em **Gestão Estratégica e Operacional da Produção**.

Ao/s **dez dias do mês de março de dois mil e vinte e cinco**, a partir das **14h00min**, de forma **virtual através da plataforma Google Meet**, realizou-se a sessão pública de Defesa de Dissertação intitulada **“ANÁLISE DE BALÍSTICA TERMINAL EM PELE SUÍNA: EXPERIMENTAÇÃO COM PISTOLAS 9MM”**. Os trabalhos foram instalados pela Orientadora, Professora Doutora **Fernanda Christina Teotonio Dias Troysi (PPGEP/UFG)** com a participação dos demais membros da Banca Examinadora: Professor Doutor **Thiago Henrique Costa Silva (UEG/PPGHIS)**, membro titular externo, **cuja participação ocorreu através de videoconferência**; Professora Doutora **Amanda Albertin Xavier da Silva (UFG/PPGMEC)**, **cuja participação ocorreu através de videoconferência**, membro titular externo. Durante a arguição os membros da banca **não fizeram** sugestão de alteração do título do trabalho. A Banca Examinadora reuniu-se em sessão secreta a fim de concluir o julgamento da Dissertação, tendo sido a candidata **aprovada** pelos seus membros. Proclamados os resultados pela Professora Doutora **Fernanda Christina Teotonio Dias Troysi**, Presidente da Banca Examinadora, foram encerrados os trabalhos e, para constar, lavrou-se a presente ata que é assinada pelos Membros da Banca Examinadora, aos **dez dias do mês de março de dois mil e vinte e cinco**.

TÍTULO SUGERIDO PELA BANCA



Documento assinado eletronicamente por **Fernanda Christina Teotonio Dias Troysi, Professora do Magistério Superior**, em 10/03/2025, às 17:02, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Amanda Albertin Xavier Da Silva, Professora do Magistério Superior**, em 11/03/2025, às 11:33, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Thiago Henrique Costa Silva, Usuário Externo**, em 11/03/2025, às 18:42, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **5221322** e o código CRC **DE05C0E9**.

Thaís de Sousa Ruas

**ANÁLISE DE BALÍSTICA TERMINAL EM PELE SUÍNA:
EXPERIMENTAÇÃO COM PISTOLAS 9MM**

Dissertação apresentado ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, da Faculdade de Ciências e Tecnologia, da Universidade Federal de Goiás, Campus Aparecida de Goiânia, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Profa. Dra. Fernanda C. T. Dias Troysi – UFG (Orientadora)

Profa. Dra. Marina Pacheco Miguel – UFG (Coorientadora)

Prof. Dr. Thiago Henrique Costa Silva – UEG (Banca Examinadora)

Prof. Dra. Amanda Albertin Xavier da Silva – UFG (Banca Examinadora)

Aparecida de Goiânia, 10, março de 2025.

Ao sagrado, mãe, pai, Guilherme e João, meus alicerces, aos amigos por terem me fortalecido no processo e escutado os meus desabafos. Eu não sobreviveria sem vocês.

AGRADECIMENTOS

À Superintendência de Polícia Técnico-Científica de Goiás pela oportunidade, contribuição, apoio técnico e disponibilidade de contribuição nesta pesquisa.

À Polícia Militar de Goiás pela disponibilização de estrutura, armamento, munição e apoio às dúvidas que tive no processo da pesquisa.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção (PPGEP) pela capacitação técnica, oportunidade e ensinamentos durante o período desta pesquisa.

Aos professores do PPGEP em especial os professores Dr. Jonas Bertholdi, Dra. Fernanda C. T. Dias Troysi (minha querida orientadora), Dr. Roberto da Piedade Francisco, Dra. Nadya Regina Galo, Dr. Hélio Yochihiro Fuchigami, Dra. Camila Fabrício Poltronieri, Dra. Tatiana Gondim do Amaral e Dra. Symone Gomes Soares Alcalá pelos conhecimentos compartilhados.

À Universidade Federal de Goiás pela estrutura disponibilizada e oportunidade de desfrutar do mestrado profissional.

Ao LABMIC - Laboratório Multiusuário de Microscopia de Alta Resolução representado nesta pesquisa pela Dra. Tatiane Oliveira dos Santos que colaborou de forma diferencial no andamento do trabalho.

Ao Clube de Tiro International Weapons Sale nas pessoas de Diogo Ala Yagi por disponibilizarem a estrutura do clube para testes prévios e testes em estande interno que foram fundamentais para as outras etapas de teste.

Ao convênio 004/2022 celebrado entre Universidade Federal de Goiás e Secretaria de Segurança Pública de Goiás que permitiram através do Edital PPGEP/FCT/UFG 003/2024 que eu fosse beneficiada pela bolsa de auxílio para assistente de pesquisa.

Ao Açougue Samuca Carnes, principalmente seu gerente Thiago Siqueira de Melo, pela disponibilidade para a entrega das peças que possibilitaram a realização do experimento e as condições facilitadas de pagamento que foram adquiridos com recursos próprios.

Aos colegas de turma de mestrado, principalmente Wagner Barcellos da Silva, parte fundamental nos experimentos.

RESUMO

As armas de fogo são responsáveis por aproximadamente 70% das mortes violentas intencionais no Brasil, tornando a balística forense essencial para investigações criminais. A balística terminal, que estuda as lesões produzidas e os vestígios associados, tem na estimativa da distância de tiro um aspecto diferencial. Para isso, é necessário o desenvolvimento de metodologias que relacionem os vestígios gerados às distâncias do disparo. A simulação experimental surge como alternativa, sendo cartolina e pele suína suportes viáveis para análise. Estudos sobre a estimativa de distância em pistolas 9x19 mm são escassos, conforme apontado pela bibliometria realizada. Este trabalho comparou as características das perfurações e vestígios gerados por pistolas Beretta APX Full Size e Sig Sauer P320, utilizando munições ogivais de 124 grains tipo EOOG NTA (Non-Toxic Ammunition). Os testes foram conduzidos em ambientes interno e externo, variando a distância entre atirador e alvo de 0 a 150 cm, com triplicata para cada condição experimental. Com os produtos do experimento foi elaborado um mapa das lesões e dos achados de microscopia eletrônica. As imagens dos experimentos foram analisadas no software ImageJ para mensuração automática da área das lesões. Os resultados indicaram que a cartolina é mais adequada para análises residuográficas, enquanto a pele suína é mais eficiente na observação de lesões e para microscopia eletrônica. Os vestígios na cartolina foram mais evidentes até 30 cm, reduzindo-se progressivamente até quase desaparecerem na maior distância. A variação entre fabricantes e estandes foi pequena, sendo a distância o principal fator de influência. Já nas peles suínas, os vestígios não apresentaram uma tendência uniforme, possivelmente devido à variabilidade do material. A pistola Beretta mostrou maior consistência nos tamanhos das lesões e no número de vestígios em ambos os suportes e ambientes. A microscopia eletrônica não identificou resíduos típicos de arma de fogo devido à munição NTA, mas revelou compostos relacionados à pólvora, metais, contaminantes e ao primer. Como a análise não foi quantitativa, não foi possível estabelecer correlação entre a geometria dos vestígios e sua composição química. Os resultados contribuem para aprimorar metodologias forenses na estimativa de distância de tiro e na caracterização de vestígios balísticos.

Palavras-chave: Balística terminal; Munição não-tóxica; Traumatismo por arma de fogo; Análise de lesões em pele suína; Estimativa de distância de tiro.

ABSTRACT

Firearms are responsible for approximately 70% of intentional violent deaths in Brazil, making forensic ballistics essential for criminal investigations. Terminal ballistics, which studies the injuries produced and the associated residues, has shooting distance estimation as a key aspect. For this purpose, it is necessary to develop methodologies that relate the generated residues to shooting distances. Experimental simulation emerges as an alternative, with cardstock and pigskin as viable analytical supports. Studies on distance estimation for 9x19 mm pistols are scarce, as indicated by the bibliometric analysis conducted. This study compared the characteristics of perforations and residues generated by Beretta APX Full Size and Sig Sauer P320 pistols, using 124-grain ogival EOOG NTA (Non-Toxic Ammunition) projectiles. Tests were conducted in both indoor and outdoor environments, varying the distance between the shooter and the target from 0 to 150 cm, with triplicate experiments for each condition. Based on the experimental data, a mapping of injuries and scanning electron microscopy findings was developed. Images from the experiments were analyzed using the ImageJ software for automatic lesion area measurement. The results indicated that cardstock is more suitable for gunshot residue analysis, while pigskin is more effective for lesion observation and electron microscopy. Residues on the cardstock were more evident up to 30 cm, progressively decreasing until they were nearly absent at the farthest distance. The variation between manufacturers and environments was minimal, with distance being the primary influencing factor. In pigskin, residue patterns did not follow a uniform trend, possibly due to material variability. The Beretta pistol demonstrated greater consistency in lesion size and residue quantity across both supports and environments. Scanning electron microscopy did not identify typical firearm residues due to the use of NTA ammunition but revealed compounds related to gunpowder, metals, contaminants, and the primer. Since the analysis was not quantitative, it was not possible to correlate the observed geometry with specific chemical elements. These findings contribute to improving forensic methodologies for gunshot distance estimation and ballistic residue characterization.

Keywords: Terminal ballistics; Non-toxic ammunition; Gunshot trauma; Pig skin injury analysis; Shot distance estimation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Classificação das armas de fogo.....	36
Figura 2 - a) Pistola <i>Beretta</i> APX; b) Pistola <i>Sig Sauer</i> P320	37
Figura 3 - Partes da pistola.....	37
Figura 4 - Cartucho de arma de fogo 9mm fabricação CBC e seus elementos	40
Figura 5 - Tipos de pontas de projéteis de calibre 9x19 mm da CBC: (a) ponta ogival; (b) ponta oca; (c) ponta plana	40
Figura 6 - Divisão da balística ao longo dos anos	42
Figura 7 - Esquema da lesão interna por projétil de arma de fogo	46
Figura 8 - Lesão primária por arma de fogo com orla de enxugo (seta amarela), zona de escoriação (seta verde) e aréola equimótica (seta vermelha)	47
Figura 9 - Fluxograma de características de orifícios de entrada	48
Figura 10 - Orla de enxugo destacada pelas setas sinalizadoras	50
Figura 11 - Orla de escoriação com pergaminhamento e ausência de desidratação indicados com o destaque das setas sinalizadoras	51
Figura 12 - Aréola equimótica destacada pelas setas sinalizadoras.....	51
Figura 13 - Lesão secundária por arma de fogo	52
Figura 14 - Zona de tatuagem onde é possível observar a incrustação de resíduos comburidos ou não.....	53
Figura 15 - Zona de enfumaçamento destacada pelos círculos a concentração de elementos combustos e fuligem.....	53
Figura 16 - Zona de queimadura destacada pelas setas as lesões produzidas pela ação dos gases propelidos que estão superaquecidos ao atingirem a superfície do alvo	54
Figura 17 - Câmara de Mina de Hofmann.....	55
Figura 18 - Anel de Fisch setas destacando a orla de enxugo (1), orla de escoriação (2) e a orla equimótica (3)	55
Figura 19 - Sinal de Benassi onde as setas indicativas destacam a impregnação de fuligem na lâmina óssea	56
Figura 20 - Sinal do funil de Bonnet onde o destaque demonstra o sentido de produção do tiro em formato de cone.....	56
Figura 21 - Regra de Puppe onde se observa as diversas fraturas em destaque na imagem	57
Figura 22 - Sinal de Werkgaertner onde as marcas provocadas estão em destaque	57

Figura 23 - Sinal de Dispersão de Cevidalli onde se formam diversas combinações de formatos produzidos pelo contato da superfície com múltiplos projéteis simultâneos ..	58
Figura 24 - Tiro de Krönlein com extravasamento de tecido cerebral	59
Figura 25 - Tiro de Schusskanal onde a fuligem deposita na lâmina óssea através do atrito com o projétil.....	59
Figura 26 - Lesão de saída produzida por projétil de arma de fogo	60
Figura 27 - Sinal de Romanese.....	61
Figura 28 - Distância de tiro estimada	62
Figura 29 - Etapas de purificação de pele suína para obtenção de matriz limpa.....	68
Figura 30 - Espectro de GSR mostrando exemplos de linhas K (de elementos leves), linhas L (de elementos intermediários como antimônio, bário e chumbo) e linhas M (de elementos pesados como chumbo).	79
Figura 31 - Morfologia dos grupos de raio X característicos.....	79
Figura 32 - Diagrama do procedimento experimental	82
Figura 33 - Disparos realizados em peles suínas com dimensões 10cm x 10cm. a) Disparo realizados a 70 cm de distância entre atirador e alvo; b) Disparo a 30 cm de distância entre atirador e alvo.	85
Figura 34 - Disparos realizados a 30 cm de distância entre atirador e alvo em carcaça com 20cm x 20cm de dimensão.	86
Figura 35 - Gabarito de distância de tiro utilizado nas duas fases do experimento.....	87
Figura 36 – Estrutura construída para os testes a) atirador em atividade; b) suporte desenvolvido que segurava as peças (pele suína ou cartolina) para a realização dos disparos	89
Figura 37 - Armas utilizadas no experimento a) <i>Beretta</i> ; b) <i>Sig Sauer</i>	91
Figura 38 - Fotografias da munição utilizada 9 mm tipo treina a) munição deitada; b) munição em pé; c) caixa de armazenamento das munições	91
Figura 39 – Fase 1 do Experimento (estande fechado) fotografia do atirador.	92
Figura 40 – Fase 2 do Experimento (estande aberto) fotografia do atirador.....	92
Figura 41 - Fotografia de cartolina com zona de chama ou de queimadura e com rompimento do papel com estrias em forma de estrela - distância de encosto.....	102
Figura 42 - Fotografia de cartolina com zona de tatuagem com microperfurações de baixa dispersão (grânulos evidentemente concentrados) – distância de 10 cm.....	103
Figura 43 – Fotografia de cartolina com microperfurações com alta dispersão - distância de 40 cm	104

Figura 44 - Fotografia de cartolina com microperfurações de grânulos espaças, quase ausentes - distância de 60 cm	105
Figura 45 - Fotografia de cartolina com microperfurações quase ausentes – distância 10 cm.....	106
Figura 46 - Imagem da pele suína (a), mapeamento feito (b) e processamento no ImageJ (c) - distância de 30 cm entre atirador e alvo	108
Figura 47 - Imagem da pele suína (a), mapeamento feito (b) e processamento no ImageJ (c) - distância de 40 cm entre atirador e alvo	109
Figura 48 - Fotografia de cartolina com zona de chama ou de queimadura e com rompimento do papel com estrias em forma de estrela - distância de encosto.....	111
Figura 49 - Fotografia de cartolina com zona de tatuagem com microperfurações de baixa dispersão (grânulos evidentemente concentrados) - distância de 20 cm	112
Figura 50 - Fotografia de cartolina com microperfurações de alta dispersão - distância de 40 cm.....	113
Figura 51 - Fotografia de cartolina com perfurações de grânulos espaças – distância 60 cm.....	114
Figura 52 - Fotografia de cartolina com perfurações quase ausentes	115
Figura 53 - Imagem da pele suína (a), mapeamento feito (b) e processamento no ImageJ (c) - distância de 60 cm entre atirador e alvo	117
Figura 54 - Imagem da pele suína (a), mapeamento feito (b) e processamento no ImageJ (c) - distância de 100 cm entre atirador e alvo	118
Figura 55 - Fotografia de cartolina com zona de chama ou queimadura e rompimento de papel em forma de estrela - distância de encosto	120
Figura 56 - Fotografia de cartolina com zona de tatuagem com microperfurações de baixa dispersão - distância de 10 cm.....	121
Figura 57 - Fotografia da cartolina com microperfurações de alta dispersão - distância de 40 cm.....	122
Figura 58 - Fotografia de cartolina com microperfurações de grânulos espaças - distância de 60 cm	123
Figura 59 - Fotografia da cartolina com perfurações quase ausentes – distância 100 cm	124
Figura 60 - Imagem da pele suína (a), mapeamento feito (b) e processamento no ImageJ (c) - distância de 30 cm entre atirador e alvo	126

Figura 61 - Imagem da pele suína (a), mapeamento feito (b) e processamento no ImageJ (c) - distância de 100 cm entre atirador e alvo	127
Figura 62 - Fotografia de cartolina com zona de chama e rompimento do papel em formato de estrela - distância de encosto	129
Figura 63 - Fotografia de cartolina com zona de tatuagem com microperfurações de baixa dispersão - distância de 10 cm.....	130
Figura 64 - Fotografia de cartolina com microperfuração de alta dispersão - distância de 30 cm.....	131
Figura 65 - Fotografia de cartolina com perfurações de grânulos espaços – distância de 70 cm.....	132
Figura 66 - Fotografia de cartolina com perfurações quase ausentes - distância de 125 cm	133
Figura 67 - Imagem da pele suína (a), mapeamento feito (b) e processamento no ImageJ (c) - distância de 10 cm entre atirador e alvo	135
Figura 68 - Imagem da pele suína (a), mapeamento feito (b) e processamento no ImageJ (c) - distância de 100 cm entre atirador e alvo	136
Figura 69 - Imagem da pele suína (a), mapeamento feito (b) e processamento no ImageJ (c) - distância de 125 cm entre atirador e alvo	137
Figura 70 - Imagens capturadas com uso da lupa Leica EZ4 nas distâncias de 0 a 50 cm	140
Figura 71 - Imagens capturadas com uso da lupa Leica EZ4 nas distâncias de 60 a 125 cm.....	141
Figura 72 - Imagens capturadas com uso da lupa Leica EZ4 na distância de 150 cm .	142

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Diferenças entre calibres .40 S&W e 9x19 mm.....	38
Quadro 2 - Esquemático das distâncias de tiro e demais variáveis (armas, campos e suportes)	87
Quadro 3 - Efeitos secundários em cartolinas em estande interno	101
Quadro 4 - Efeitos secundários em peles suínas em estande interno.....	106
Quadro 5 - Efeitos secundários em cartolinas em estande externo	110
Quadro 6 - Efeitos secundários em peles suínas em estande externo	116
Quadro 7 - Efeitos secundários em cartolinas em estande interno	119
Quadro 8 - Efeitos secundários em pele suína em estande interno.....	125
Quadro 9 - Efeitos secundários em cartolina em estande interno.....	128
Quadro 10 - Efeitos secundários em pele suína em estande externo	133
Quadro 11 - MEV/EDS Beretta estande fechado	168
Quadro 12 - Mapa EDS Beretta Estande Fechado a) Disparos realizados em 0 e 50 cm e b) Disparos realizados em 100 e 150 cm	171
Quadro 13 - MEV/EDS Sig Sauer estande fechado	174
Quadro 14 - Mapa EDS Sig Sauer Estande Fechado a) Disparos realizados em 0 e 50 cm e b) Disparos realizados em 100 e 150 cm.....	177
Quadro 15 - MEV/EDS Beretta estande aberto.....	180
Quadro 16 - Mapa EDS Beretta Estande Aberto a) Disparos realizados em 0 e 50 cm e b) Disparos realizados em 100 e 150 cm.....	182
Quadro 17 - MEV/EDS Sig Sauer estande aberto	186
Quadro 18 - Mapa EDS Sig Souer Estande Aberto a) Disparos realizados em 0 e 50 cm e b) Disparos realizados em 100 e 150 cm	187
Quadro 19 - MEV Beretta estande fechado a) Disparos a 0 e 50 cm e b) Disparos a 100 e 150 cm.....	190
Quadro 20 - MEV Sig Sauer estande fechado a) Disparos a 0 e 50 cm e b) Disparos a 100 e 150 cm	193
Quadro 21 - MEV Beretta estande aberto a) Disparos a 0 e 50 cm e b) Disparos a 100 e 150 cm.....	195
Quadro 22 - MEV Sig Sauer estande aberto a) Disparos a 0 e 50 cm e b) Disparos a 100 e 150 cm	197

LISTA DE TABELA

Tabela 1 – Fluxo de escolha dos artigos	98
Tabela 2 - Tamanho das lesões produzidas nas peles suínas	138
Tabela 3 - Valores de Desvio Padrão e Coeficiente de Variação das Lesões	145
Tabela 4 - Valores de Desvio Padrão e Coeficiente de Variação dos resíduos nas cartolinas	154
Tabela 5 - Valores de Desvio Padrão e Coeficiente de Variação dos resíduos nas peles suínas.....	162

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Número e taxa de homicídios no Brasil (2011-2021)	32
Gráfico 2 - Taxa de Mortes Violentas Intencionais por estado em 2022.....	33
Gráfico 3 - Taxa de Mortes Violentas Intencionais (MVI) por tipos de mortes de causas externas em Goiás no ano de 2022	34
Gráfico 4 - Gráfico relacionando as médias de tamanho das lesões produzidas pela pistola Beretta nos dois tipos de estande	143
Gráfico 5 - Gráfico relacionando as médias de tamanho das lesões produzidas pela pistola Sig Sauer nos dois tipos de estande	143
Gráfico 6 - Gráfico relacionando as médias de tamanho das lesões produzidas pelas pistolas Beretta e Sig Sauer no estande aberto	144
Gráfico 7 - Gráfico relacionando as médias de tamanho das lesões produzidas pelas pistolas Beretta e Sig Sauer no estande fechado.....	145
Gráfico 8 - Comparação entre os coeficientes de variação e desvio padrão- a) Beretta ambiente aberto; b) Sig Sauer ambiente aberto; c) Beretta ambiente fechado; d) Sig Sauer Ambiente Fechado	147
Gráfico 9 – Linha de tendência do efeito da Beretta nos dois ambientes para a produção das lesões.....	148
Gráfico 10 – Linha de tendência do efeito da Sig Sauer nos dois ambientes para a produção das lesões.....	149
Gráfico 11 - Linha de tendência do efeito do ambiente aberto para a produção das lesões	149
Gráfico 12 - Linha de tendência do efeito do ambiente fechado para a produção das lesões	150
Gráfico 13 - Comparativo entre ambientes da média de vestígios Beretta	151
Gráfico 14 - Comparativo entre ambientes da média de vestígios Sig Sauer	152
Gráfico 15 – Comparativo entre fabricantes, vestígios observáveis em cartolina em estande fechado.....	153
Gráfico 16 - Comparativo entre fabricantes, vestígios observáveis em cartolina em estande aberto	153

Gráfico 17 - Comparação entre os coeficientes de variação e desvio padrão- a) Beretta ambiente aberto; b) Sig Sauer ambiente aberto; c) Beretta ambiente fechado; d) Sig Sauer Ambiente Fechado	156
Gráfico 18 - Linha de tendência do efeito das duas fabricantes para a produção do residuográfico em cartolina em ambiente aberto.....	157
Gráfico 19 - Linha de tendência do efeito das duas fabricantes para a produção do residuográfico em cartolina no ambiente fechado.....	157
Gráfico 20 - Linha de tendência do efeito da Beretta para a produção do residuográfico na cartolina nos dois ambientes	158
Gráfico 21 - Linha de tendência do efeito da Sig Sauer para a produção do residuográfico na cartolina nos dois ambientes	158
Gráfico 22 - Comparativo entre ambientes da média de vestígios Beretta	159
Gráfico 23 - Comparativo entre ambientes da média de vestígios Sig Sauer	160
Gráfico 24 – Comparativo entre fabricantes de vestígios observáveis em pele suína no estande fechado.....	161
Gráfico 25 - Comparativo entre fabricantes de vestígios observáveis em pele suína no estande aberto	161
Gráfico 26 - Comparação entre os coeficientes de variação e desvio padrão- a) Beretta ambiente aberto; b) Sig Sauer ambiente aberto; c) Beretta ambiente fechado; d) Sig Sauer Ambiente Fechado	163
Gráfico 27 - Linha de tendência do efeito das fabricantes no residuográfico nas peles suínas no ambiente aberto	164
Gráfico 28 - Linha de tendência do efeito das fabricantes no residuográfico nas peles suínas no ambiente fechado.....	165
Gráfico 29 - Linha de tendência do efeito da Beretta no residuográfico nas peles suínas nos dois ambientes	165
Gráfico 30 - Linha de tendência do efeito da Sig Sauer no residuográfico nas peles suínas nos dois ambientes	166
Gráfico 31 - Análise qualitativa da presença de elementos químicos na condição de Beretta /Estande Fechado	167
Gráfico 32 - Análise qualitativa da presença de elementos químicos na condição de Sig Souer /Estande Fechado	173
Gráfico 33 - Análise qualitativa da presença de elementos químicos na condição de Beretta /Estande Aberto	179

Gráfico 34 - Análise qualitativa da presença de elementos químicos na condição de Sig Souer /Estande Aberto	184
---	-----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Al	Alumínio
Ba	Bário
BEI	<i>Backscattered Electron Image</i>
C	Carbono
Cl	Cloro
CBC	Companhia Brasileira de Cartuchos
CV	Coefficiente de variação
DNA	<i>DeoxyriboNucleic Acid</i> (Ácido desoxirribonucleico)
EDS	Espectroscopia dispersiva de elétrons
EMPRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FBI	<i>Federal Bureau of Investigation</i> (Departamento Federal de Investigação)
FBSP	Fórum Brasileiro de Segurança Pública
Fe	Ferro
GSR	<i>Gunshot Residue</i> (Resíduo de arma de fogo)
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IGSR	<i>Inorganic Gunshot Residue</i> – Resíduos Inorgânicos de Arma de Fogo
K	Potássio
LABMIC	Laboratório Multiusuário de Microscopia de Alta Resolução
LDA	<i>Linear Discriminant Analysis</i> (Análise Discriminante Linear) <i>Multivariate Curve Resolution with Alternating Least Squares</i>
MCR-ALS	(Resolução de curva multivariada com mínimos quadrados alternados)
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura
MVI	Mortes Violentas Intencionais
Na	Sódio
NTA	<i>Non toxic ammunition</i> (Munições não-tóxicas)
O	Oxigênio
OGSR	<i>Organic Gunshot Residue</i> – Resíduos Orgânicos de Arma de Fogo
P	Fósforo
PAF	Projétil de Arma de Fogo
Pb	Chumbo

PCA	<i>Principal Component Analysis</i> (Análise de Componente principal)
PLS-DA	<i>Partial Least Squares – Discriminant Analysis</i> (Mínimos quadrados parciais – Análises Discriminantes)
POP	Procedimentos Operacionais Padrão
S	Enxofre
Sb	Antimônio
SEM	<i>Scanning Electron Microscopy</i> (Microscopia eletrônica de varredura)
Si	Silício
SINARM	Sistema Nacional de Armas
SLA-ICP-MS	<i>Scanning Laser Ablation and Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry</i> (Ablação a Laser por Varredura e Espectrometria de Massa por Plasma Indutivamente Acoplado)
SPME-GC-MS	<i>Solid Phase Microextraction – Gas Chromatography – Mass Spectrometry</i> (Microextração em Fase Sólida – Cromatografia Gasosa – Espectrometria de Massa)
SSPGO	Secretaria de Segurança Pública de Goiás
SVM-DA	<i>Support Vector Machine – Discriminant Analysis</i> (Máquina de Vetores de Suporte)
Ti	Titânio
UFG	Universidade Federal de Goiás
UNODC	<i>United Nations Office on Drugs and Crime</i>
W	Tungstênio
WOS	<i>Web of Science</i> TM
Zn	Zinco

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	27
1.1	Objetivos.....	29
<i>1.1.1</i>	<i>Objetivo Geral.....</i>	<i>29</i>
<i>1.1.2</i>	<i>Objetivos Específicos.....</i>	<i>29</i>
1.2	Divisão do trabalho.....	29
2	REFERÊNCIAL TEÓRICO.....	31
2.1	Uso de armas de fogo em mortes violentas intencionais.....	31
2.2	Armas de Fogo.....	35
<i>2.2.1</i>	<i>Munição e Projéteis.....</i>	<i>39</i>
2.3	Balística Forense e Perícia Criminal no Combate ao Crime.....	41
2.4	Traumatologia aplicada a balística.....	45
<i>2.4.1</i>	<i>Lesões de Entrada.....</i>	<i>47</i>
<i>2.4.1.1</i>	<i>Lesões Primárias.....</i>	<i>49</i>
<i>2.4.1.2</i>	<i>Lesões secundárias.....</i>	<i>52</i>
<i>2.4.1.3</i>	<i>Lesões de entrada especiais.....</i>	<i>54</i>
<i>2.4.2</i>	<i>Lesões de saída.....</i>	<i>59</i>
<i>2.4.3</i>	<i>Estimativa de distância de tiro.....</i>	<i>61</i>
<i>2.4.3.1</i>	<i>Tiros de encosto.....</i>	<i>64</i>
<i>2.4.3.2</i>	<i>Tiro a curta distância.....</i>	<i>65</i>
<i>2.4.3.3</i>	<i>Tiro distante.....</i>	<i>66</i>
2.5	Materiais simuladores de danos teciduais.....	67
2.6	Resíduo de disparo de arma de fogo.....	69
<i>2.6.1</i>	<i>Preparação e amostragem de resíduos de disparo.....</i>	<i>73</i>
<i>2.6.2</i>	<i>Análise dos resíduos de disparo.....</i>	<i>74</i>
3	METODOLOGIA.....	82
3.1	Etapa I – Revisão bibliográfica e análise bibliométrica.....	83
3.2	Etapa II – Comissão de Ética no Uso de Animais (CEUA).....	84

3.3	Etapa III – Levantamento de parâmetros para obtenção/armazenamento/preparação das peles suínas e suporte no estande	84
3.4	Etapa IV - Definição das distâncias e ângulos de disparos, armamento, munições, estandes de tiro e preparação do atirador	89
3.5	Etapa V - Realização dos testes experimentais	91
3.6	Etapa VI – Análise dos resultados	94
3.7	Etapa VII - Elaboração do mapa de balística da ferida e análise dos resultados	96
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	97
4.1	Análise bibliométrica	98
4.2	Sobre os testes e o desenvolvimento do protocolo de simulação	99
4.2.1	<i>Beretta APX Full Size de número de série AA105605B.....</i>	100
4.2.1.1	<i>Estande interno.....</i>	100
4.2.1.2	<i>Estande externo.....</i>	110
4.2.2	<i>Sig Sauer modelo P320 de número de série 58H004950.....</i>	119
4.2.2.1	<i>Estande interno.....</i>	119
4.2.2.2	<i>Estande externo.....</i>	128
4.3	Análises das lesões	138
4.3.1	<i>Comparativa dos ambientes</i>	142
4.3.2	<i>Comparativa das armas</i>	143
4.3.3	<i>Estatísticas</i>	145
4.4	Análises dos vestígios nos suportes experimentados.....	150
4.4.1	<i>Cartolinas</i>	150
4.4.1.1	<i>Comparativa ambientes.....</i>	151
4.4.1.2	<i>Comparativa das armas</i>	152
4.4.1.3	<i>Estatísticas.....</i>	154
4.4.2	<i>Peles Suínas.....</i>	159
4.4.2.1	<i>Comparativa de ambientes.....</i>	159
4.4.2.2	<i>Comparativa das armas</i>	160
4.4.2.3	<i>Estatísticas.....</i>	162

4.5	Análises do MEV	166
4.5.1	<i>Análises do MEV/EDS – Beretta estande Fechado</i>	166
4.5.2	<i>Análises do MEV/EDS – Sig Sauer estande fechado.....</i>	173
4.5.3	<i>Análises do MEV/EDS – Beretta estande Aberto.....</i>	178
4.5.4	<i>Análises do MEV/EDS – Sig Sauer estande Aberto.....</i>	184
4.5.5	<i>Análise do MEV – Análise morfológica.....</i>	189
5	CONCLUSÕES.....	200
6	TRABALHOS FUTUROS.....	203
	REFERÊNCIAS.....	205

1 INTRODUÇÃO

As armas de fogo fizeram parte da história da humanidade desde a sua invenção, posteriormente à descoberta da pólvora (Santos; Issa, 2023a) e são os principais instrumentos utilizados em homicídios mundialmente (*United Nations Office on Drugs and Crime* (UNODC), 2020). As Mortes Violentas Intencionais (MVI) são a soma dos números de homicídio doloso, ou seja, vítimas de homicídio, latrocínio, lesão corporal seguida de morte, policiais vitimados e morte decorrente de intervenção policial (Fórum Brasileiro de Segurança Pública (FBSP), 2023).

A violência urbana teve índices que variaram entre o crescimento e a queda nos últimos 10 anos. Os índices têm diferenças nos diversos estados, mas observa-se em sua maioria uma queda entre os anos de 2018 e 2021 dos crimes de natureza letal. Do contrário, o índice de letalidade policial vem numa crescente e a análise pericial pormenorizada se faz necessário para que se constate a diferença entre uma ação legítima e uma ilegítima de confronto (FBSP, 2022).

O ramo da criminalística especializado em armas e seus efeitos é a balística forense. Tal área já foi um ramo exclusivo da medicina legal. Os médicos, recorriam a profissionais leigos na área pericial, mas sábios com relação a armas (armeiros, militares, caçadores, dentre outros) e, das conclusões destes, teciam seus laudos. O posterior tratamento científico deste assunto deu gênese à balística forense, sendo uma área interseccional entre medicina legal e perícia criminal (Santos; Issa, 2023c).

Há poucos estudos que relacionam a distância de tiro e achados de balística terminal para munições 9x19mm, bem como sobre a morfologia característica dos ferimentos de munição de arma de fogo nas vítimas (Merli *et al.*, 2018; Donghi *et al.*, 2019; Miranda *et al.*, 2019; Giorgetti *et al.*, 2020; Schyma *et al.*, 2020; Wongpakdee *et al.*, 2021). Tal lacuna científica de discussão representa um vazio importante que esta pesquisa visa diminuir para entender esta questão de grande importância forense e médico-legal. Ressalte-se que a distância entre atirador e alvo se torna vestígio diferencial em confrontos legítimos.

Para o cômputo de tais estimativas é necessário o uso de materiais simuladores que se assemelhem ao tecido animal vivo. O uso de fragmentos animais se mostra mais adequado metodologicamente que o uso de animais vivos, como era feito até a década de 80 (Santos; Issa, 2023e; Santos, 2022; Humprey, 2016; Patraşcu; Dobre; Alexe, 2011). A

escolha de pele suína para fazer estas observações se mostra adequada devido à semelhança entre a estrutura cutânea suína e humana e por isso foi utilizada neste experimento além da cartolina.

O desprendimento dos materiais provenientes do evento de tiro inclui pólvora, resíduos metálicos, gases da combustão e fumaça (Santos, 2020). Tais vestígios compõem a caracterização de efeitos secundários (halo de enfumaçamento, zona de chama e zona de tatuagem). As análises da área das lesões e contagem dos residuográficos pode ser feita através do cálculo utilizando o software ImageJ (Turin *et al.*, 2018; Aragón-Sánchez *et al.*, 2017).

A pesquisa proposta se beneficiará do acesso às instalações dos stands de tiros da Polícia Militar e do Clube de Tiro IWS Brasil, assim como dos materiais necessários para os testes, incluindo armamentos e munições. Essa possibilidade foi viabilizada através do convênio nº 004/2022 entre a Universidade Federal de Goiás (UFG) e a Secretaria de Segurança Pública de Goiás (SSPGO). Este acordo permitiu a integração de profissionais da segurança pública no ambiente acadêmico da UFG, especificamente nas linhas de pesquisa e temas relacionados à Engenharia de Produção. Como resultado, foram abertas oportunidades para investigações que preencham lacunas científicas de interesse da SSPGO.

Diante disso, quais as diferenças entre as lesões produzidas pelas armas de fogo do tipo pistola das fabricantes *Beretta* e *Sig Sauer*, ambas de 9x19 mm em diferentes distâncias entre atirador e alvo e tipos de estandes?

Nos ferimentos produzidos por tiros de encosto haverá a crepitação gasosa de tela cutânea com apresentação irregular de bordas, em formato de estrela; nos de curta distância será possível observar os efeitos secundários de tiros; e por último, nos de longa distância a lesão será de menor diâmetro que o projétil e não há presença de efeitos secundários (França, 2018; Alves, 2023; Santos; Issa, 2023a; Santos; Issa, 2023b; Santos; Issa, 2023c; Santos; Issa, 2023d; Santos; Issa, 2023e;).

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Elaborar um mapa de balística terminal e realizar uma análise estatística comparativa dos vestígios gerados pelo impacto de munições 9 mm disparadas por pistolas Beretta e Sig Sauer, em diferentes suportes (cartolina e pele suína), considerando variáveis como distância de tiro e ambiente de disparo.

1.1.2 Objetivos Específicos

Para isso, traçam-se os seguintes objetivos específicos:

- i. Realizar uma análise bibliométrica sobre o tema;
- ii. Desenvolver um protocolo experimental que inclua a medição da distância do atirador e alvos para simular eventos de tiro;
- iii. Conduzir testes balísticos em peles suínas e cartolinas;
- iv. Descrever as características das lesões e dos vestígios, comparando os achados nas peles suínas e cartolinas;
- v. Avaliar os desprendimentos por meio da Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e Espectroscopia Dispersiva de Elétrons (EDS);
- vi. Quantificar os vestígios gerados nos testes por meio de processamento de imagem utilizando o software ImageJ;
- vii. Analisar estatisticamente os vestígios gerados;
- viii. Elaborar de um mapa comparativo com os achados balísticos.

1.2 Divisão do trabalho

O trabalho foi dividido em cinco capítulos, sendo eles:

- A introdução que contempla tema, justificativa, problema de pesquisa, hipóteses, objetivos geral e específico;
- O capítulo 2 que aborda o Referencial Teórico, o qual é composto por seis temas principais;

- O capítulo 3 trata sobre o método, seção na qual estão descritas metodologia e procedimentos seguidos para a realização do experimento;
- O capítulo 4 traz a descrição da pesquisa de campo realizada e a discussão dos resultados obtidos;
- O capítulo 5 aborda as conclusões limitações do estudo;
- O capítulo 6 traz as sugestões de estudos futuros.

2 REFERÊNCIAL TEÓRICO

Nesta seção serão expostas reflexões de diversos autores sobre assuntos que se mostraram importantes para a construção da pesquisa. O uso das armas de fogo em MVIs contextualiza o vasto uso de tais objetos neste contexto, o próximo tópico conceitua as armas de fogo que, dentro da criminalística são estudados pela balística forense.

Já a traumatologia que analisa as ações externas sobre os corpos aqui está aplicada à balística forense pois é a limitação deste trabalho. Para tanto, são necessários anteparos para a realização dos disparos, os materiais simuladores. Nestes suportes foram depositados resíduos de arma de fogo que também são tratados conceitualmente nessa seção.

2.1 Uso de armas de fogo em mortes violentas intencionais

A América Latina foi considerada como o bloco de continentes mais violento do mundo no ano de 2017, registrando 36% das mortes violentas mundiais (Alvarez-Velasco, 2022). Dentre estes países o Brasil ocupa a 3ª posição, Colômbia ocupando a primeira e Venezuela a segunda colocada (Restrepo-Betancur, 2022).

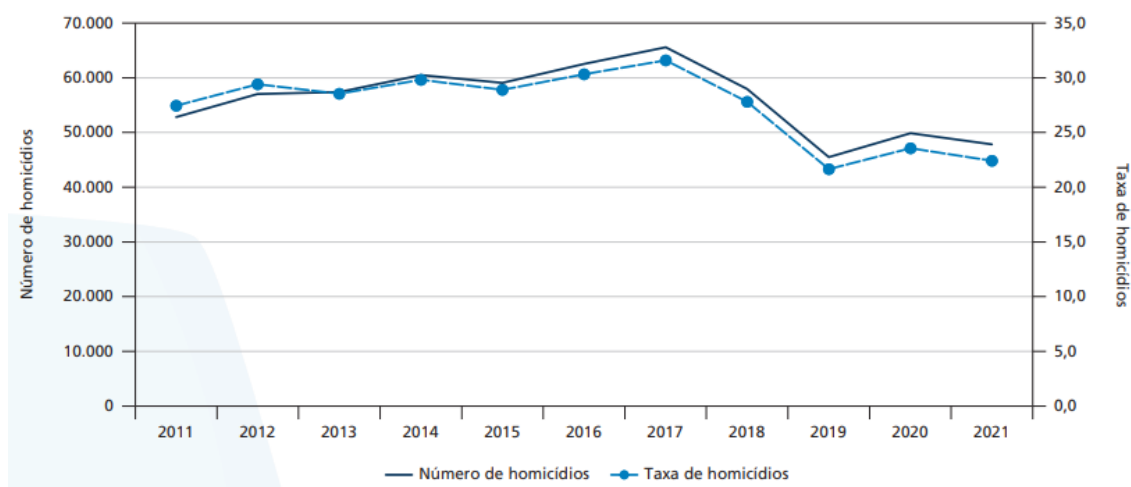
As armas de fogo são os principais instrumentos utilizados em homicídios em todo o mundo, inclusive no Brasil (Cerqueira; Bueno, 2023; UNODC, 2023). As MVI nos anos de 2021 e 2022 somaram no Brasil 96.795, destes, 3.653 no Estado de Goiás. Dentre estes casos, as armas de fogo foram o instrumento utilizado em 76,5% das MVI brasileiras (Cerqueira; Bueno, 2023).

No Brasil, vários estudos apontam que o uso de armas de fogo está positivamente relacionado com o crescimento da violência no país (Bandeira; Bourgois, 2005; Cerqueira; Coelho, 2013; Conti, 2017; Lee *et al.*, 2017; Donohue; Aneja; Weber, 2019). E, antagonicamente ao que pensa a maior parte da população, as armas refletem numa maior insegurança e risco para a sociedade (FBSP, 2022).

Os números de MVI em 2022 foram um total de 47.398 vítimas. Destes, a letalidade policial foi responsável por 6.429 mortes, mais de 13% deste total (FBSP, 2023). O Estado, tendo como órgãos de prevenção, combate e controle da violência suas instituições policiais acaba por justificar o uso legítimo da violência por parte dos seus agentes (Loche, 2010).

A partir de 2014 a região centro-oeste apresentou queda na taxa de homicídios. Tal evento é atribuído ao armistício entre facções rivais, envelhecimento da população e implementação de políticas de segurança (Cerqueira; Bueno, 2023). No Gráfico 1, está ilustrado o número e taxa de homicídios no Brasil entre 2011 e 2021, o que demonstra a conjuntura de violência no país.

Gráfico 1 - Número e taxa de homicídios no Brasil (2011-2021)



Fonte: Cerqueira e Bueno (2023) (adaptado pela autora).

Reynoard *et al.* (2021) analisaram mortes por armas de fogo no sudeste da França em indivíduos autopsiados entre os anos de 2011 e 2018. Os dados foram analisados em software específico e analisados estatisticamente. Os calibres foram agrupados de acordo com a padronização internacional. Os dados deste estudo evidenciaram que a maiorias das mortes por arma de fogo foram homicídios, com múltiplas lesões, concentradas em tórax e abdome e com armas de diferentes calibres associadas. As observações foram que a maior frequente região anatômica em suicídios foi a cabeça e foi utilizado apenas um tipo de arma. Os achados sobre os calibres foram diferentes da literatura o que se assumiu ter ocorrido por diferenças culturais e sociais.

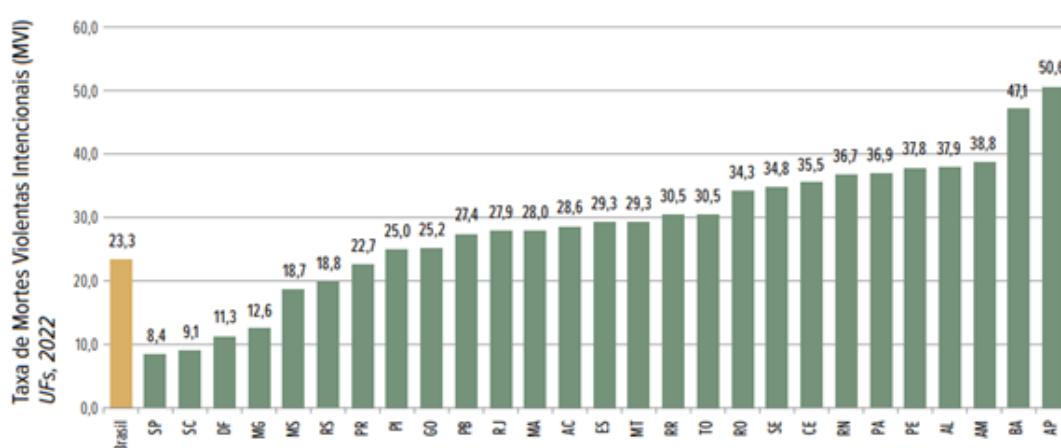
As estatísticas relacionadas ao número exato de armas de fogo no Brasil têm limitações como a dificuldade em relacionar estes números a outras variáveis, a incerteza dos dados populacionais enfrentada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e a não atualização do estudo sobre a qualidade da coleta, tabulação e sistematização de dados policiais realizada pelos estados brasileiros (FBSP, 2023).

Como explana Vanini (2014), os números brasileiros são maiores que outros países com extensão e população semelhantes às suas. A autora cita que de 2010 a 2012, China, Índia, Estados Unidos e Indonésia apesar de terem uma população maior que a do Brasil, seus números de homicídios por arma de fogo são 9.387, 3.093, 12.179, 13.274, respectivamente, enquanto no Brasil os homicídios atingiram 36.792. Se somados, tais países superam os números do Brasil em apenas 1.141 óbitos.

As justificativas para tais estatísticas brasileiras apontam que a negligência, o fácil acesso e banalização da violência contribuem para os altos números. Com uma taxa de resolução de menos de 8% dos homicídios que tem as armas de fogo como instrumento executor, a impunidade é esperada tanto pelos agentes criminosos quanto pela própria população (Vanini, 2014).

Segundo os dados estatísticos do FBSP (2023) demonstrado no Gráfico 2, Goiás ocupou em 2022 o 9º lugar nas taxas de MVI com 25,2 por 100 mil habitantes. Goiânia ficou na 18ª posição entre as capitais em números absolutos de homicídios dolosos em 2021 e na 21ª em 2022 com 170 e 138 homicídios a cada 100 mil habitantes, respectivamente. Enquanto sobre as mortes por intervenção policial ocupa a 6ª posição em 2021 e a 5ª colocação em 2022 (FBSP, 2023).

Gráfico 2 - Taxa de Mortes Violentas Intencionais por estado em 2022



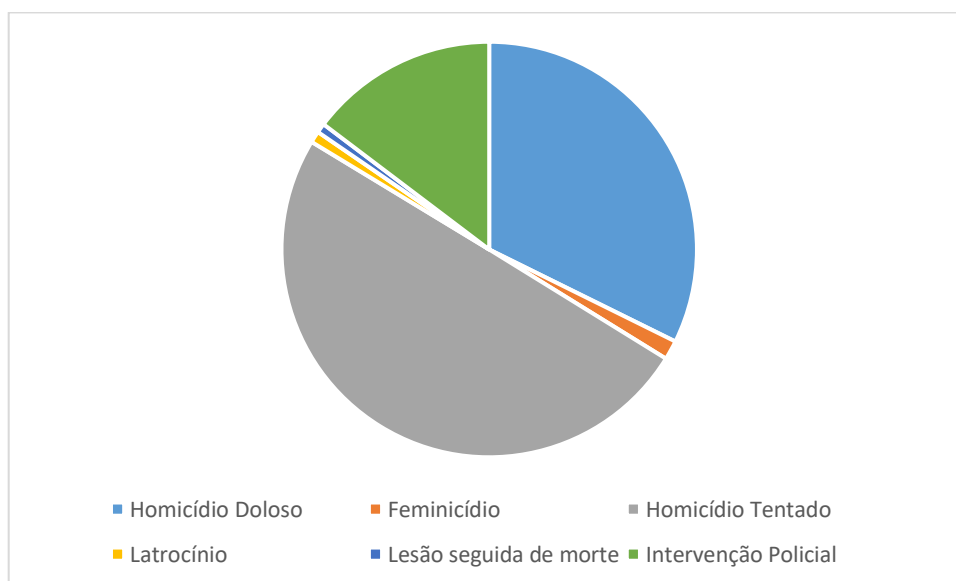
Fonte: FBSP, 2023 (adaptado pela autora).

A taxa de vítimas a cada 100.000 habitantes do estado de Goiás é maior que a nacional conforme os dados do FBSP (2023) no ano de 2022. Os números absolutos

correspondem a 3% dos números apontados como totais no país. Os números de MVI no estado foram de 1780, uma taxa de 25,2 a cada 100.000 habitantes, enquanto no Brasil foram um total de 47.452 vítimas, uma taxa de 23,3 a cada 100.000 habitantes. Tais números estão demonstrados graficamente na figura 2.

Detalhando a vitimização de Goiás, das 1780 MVIs foram: 1185 de homicídio doloso, 55 de feminicídio, 1829 de tentativa de homicídio, 33 de latrocínio, 27 de lesão corporal seguida de morte e 539 de intervenção policial (Goiás, 2024a; Goiás 2024b). As mortes por intervenção policial no estado de Goiás corresponderam neste ano por mais de 15% das vítimas o que reforça a necessidade de exames pormenorizados para reconhecimento de ação legítima dos agentes do estado, como é exibido no Gráfico 3. As demais divisões das MVIs no estado de Goiás por tipos de mortes também estão exibidas no Gráfico 3.

Gráfico 3 - Taxa de Mortes Violentas Intencionais (MVI) por tipos de mortes de causas externas em Goiás no ano de 2022



Fonte: Adaptado de Goiás (2024a) e Goiás (2024b).

Como citam Lima, Bueno e Alcadipani (2021), o Brasil de 2019 a 2022 enfrentou o aumento de armas de fogo em circulação devido às políticas de incentivo ao armamento da população. Resultado deste número crescente de armas em circulação, houve também o aumento da necessidade de exames relacionados às armas apreendidas. Para que se estime o número de armas circulantes, foram registradas no Sistema Nacional de Armas

(SINARM), 100% a mais do que nos períodos anteriores (De Oliveira Sousa; Silva; De Queiroz, 2023).

Diante de tal cenário, é necessário a realização de exames especializados, em laboratórios de balística forense. Destes a caracterização e eficiência de armas de fogo e exames de confronto microbalístico são os principais exames realizados. Os exames de caracterização e eficiência são realizados em todas as unidades da Polícia Científica de Goiás, já as análises microbalísticas, devido a sua complexidade, são realizadas nos laboratórios de balística do Estado localizados em Goiânia, Aparecida de Goiânia e Luziânia (De Oliveira Sousa; Silva; De Queiroz, 2023).

2.2 Armas de Fogo

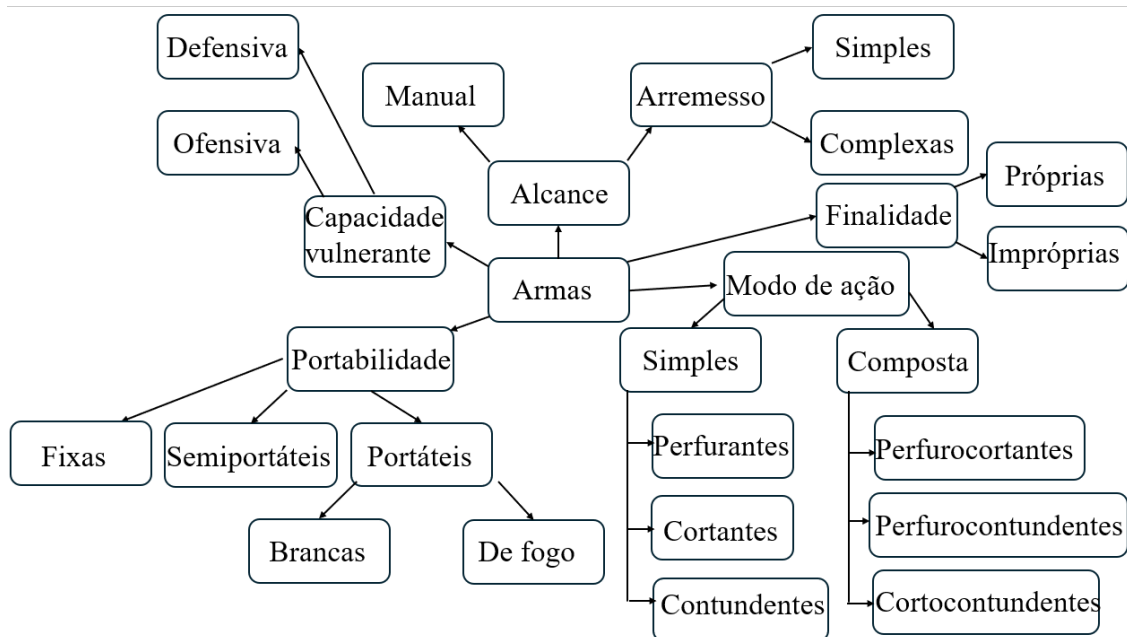
Conforme definido no Decreto nº 10.030, de 30 de setembro de 2019 arma de fogo é:

Arma que arremessa projéteis empregando a força expansiva dos gases, gerados pela combustão de um propelente confinado em uma câmara, normalmente solidária a um cano, que tem a função de dar continuidade à combustão do propelente, além de direção e estabilidade ao projétil” (Brasil, 2019).

As armas de fogo são classificadas quanto à alma do cano, forma de carregamento, sistema de inflamação, funcionamento e portabilidade (Del-Campo, 2020). Tal classificação está ilustrada na Figura 1.

Dentro destas subdivisões elencadas na figura 4, as pistolas se classificam como arma própria, de arremesso complexo, ofensiva, portátil, arma de fogo, de ação composta pérfurocontusa (Del-Campo, 2020). Como define Alves (2023), as pistolas de autocarregamento como *Beretta* e *Sig Sauer* pertencem à quarta categoria de armas curtas de mão. Seu carregamento é realizado através de carregadores externos compostos com mola na empunhadura, que dá a habilidade automática às mesmas.

Figura 1 - Classificação das armas de fogo



Fonte: Adaptado de Del-Campo (2020).

Beretta é uma fabricante italiana com quase 500 anos de história assumida como a mais antiga fabricante de componentes de armas de fogo no contexto mundial (Soro, 1987). Tem um leque amplo de armas de fogo, envolvendo espingardas de cano duplo, invertidas, semiautomáticas, de caça, de alta velocidade de saída, fuzis de assalto, submetralhadoras, fuzis por alavanca e por ferrolho, revólveres de ação simples e dupla e pistolas semiautomáticas, esta última, ilustrada na Figura 2(a) (NRA American Rifleman, 2015).

Já *Sig Sauer* é uma fabricante alemã fundada em 1985 e que até 2007 era nomeada de *Sigarms*. Fabricava inicialmente rifles e pistolas, um de seus modelos podem ser vistos na Figura 2(b). Atualmente, além de tais itens, a fabricante engloba em seu portfólio supressores, ópticas, munições e armas de ar comprimido (Sig Sauer, 2024).

Figura 2 - a) Pistola *Beretta APX*; b) Pistola *Sig Sauer P320*

Fonte: a) *Beretta* do Brasil (2024); b) *Sig* do Brasil (2024).

O cano das pistolas é envolto por ferrolho com culatra integrada. Ao movimentar o ferrolho o cartucho que ocupa a primeira posição (a superior) do carregador é alocado na parte posterior do cano e recolocado na câmara de combustão pela culatra o que também aciona o gatilho. Com acionamento do gatilho o cão acerta a espoleta que ativa o propelente, lançando o projétil através do cano pela ação dos gases inflamados. Com o recuo a mola recuperadora repete o processo de alimentação com o próximo cartucho do carregador, deixando o próximo tiro disponível (Alves, 2023). As partes de uma pistola estão esboçadas na Figura 3.

Figura 3 - Partes da pistola



Fonte: Mundo das Armas (2020).

No conjunto arma de fogo e munição cabe definir algumas nomenclaturas a serem utilizadas: munição se refere a todo o conjunto do projétil, incluindo: estojo ou cartucho, químicos propelentes, percussão e o próprio projétil, conforme figura 7. Os efeitos produzidos pelos projéteis nos alvos dependem das características deles, formato, material, angulação do projétil, composição e características do alvo animado ou inanimado (Fernandes, 2019).

Por terem ação física que envolvem termodinâmica e termoquímica, ao ignizar os mecanismos responsáveis pela combustão dos componentes da munição é gerado um volume quantioso de gases, o que gera a pressão que propule o projétil. Neste processo, acompanham o projétil estes gases em alta temperatura, as sujidades que estavam no cano da arma, pólvora combusta e incombusta (Frank, 2016; Vanini, 2014).

A análise pericial leva em conta a interação do Projétil de Arma de Fogo (PAF) e seus movimentos (no cano, na trajetória e na interação com o alvo) o que é crucial para os exames médico-legais (Santos; Issa, 2023a). Isso inclui a análise dos efeitos do impacto, como: penetração, deformação do projétil e do alvo, fragmentação, transferência de energia, e qualquer outro dano causado pelo projétil ao alvo (Alves, 2023; Tocchetto, 2021).

Os alvos variam as composições de seus materiais, e a interação com os projéteis. A resistência de um material a um projétil é medida pela capacidade de ser penetrado nas mesmas condições, e alvos finos, tais como a epiderme, não oferecem o poder de deformação do projétil, mas sim a exibição dos danos que são estudados na balística terminal (Fernandes, 2019). A eficiência do calibre 9x19 mm no enfrentar os alvos da lida diária policial se mostrou mais eficiente que os demais calibres anteriormente utilizados que são .40 S&W e .45 ACP, tanto pela sua precisão quanto pela capacidade dos carregadores (Trindade, 2021) a comparação entre as principais características pode ser visualizada no Quadro 1.

Quadro 1 - Diferenças entre calibres .40 S&W e 9x19 mm

Calibre .40 S&W	Calibre 9x19 mm
<ul style="list-style-type: none"> • Custo mais elevado 	<ul style="list-style-type: none"> • Menor custo
<ul style="list-style-type: none"> • Menor oferta para a aquisição de insumos 	<ul style="list-style-type: none"> • Maior oferta para a aquisição de insumos
<ul style="list-style-type: none"> • Maior manutenção 	<ul style="list-style-type: none"> • Menor custo de manutenção
<ul style="list-style-type: none"> • Maior índice de danos reportados 	<ul style="list-style-type: none"> • Menor índice de danos reportados

<ul style="list-style-type: none"> • Munição maior, diminuindo a capacidade de cartuchos no carregador 	<ul style="list-style-type: none"> • Munição menor, o que aumenta a capacidade de cartuchos do carregador
<ul style="list-style-type: none"> • Necessidade maior de tempo para a recuperação de visada, o que gera menor potencial lesivo 	<ul style="list-style-type: none"> • Necessidade menor de tempo para a recuperação de visada, o que resulta em maior potencial lesivo
<ul style="list-style-type: none"> • Logística de transporte mais dispendiosa 	<ul style="list-style-type: none"> • Logística de transporte de menor custo
<ul style="list-style-type: none"> • Maior desgaste no conjunto de peças do armamento 	<ul style="list-style-type: none"> • Menor desgaste no conjunto de peças do armamento

Fonte: Ministério da Justiça e Segurança Pública (adaptado pela autora, 2024).

Tais características justificam a aplicação do calibre 9x19 mm pelo *Federal Bureau of Investigation* (FBI) que se deve ao fato de sua efetiva penetração em alvos humanos e uma maior capacidade nos carregadores das armas deste calibre. Há relatos que o calibre 9x19 mm permite reações mais ágeis que o calibre .40 S&W (Oliveira, 2019; Trindade, 2021). Em consequência disto, as instituições policiais seguem a mesma linha operacional, adotando tal calibre (Ministério da Justiça e Segurança Pública, 2019).

2.2.1 Munição e Projéteis

As munições são divididas de acordo com suas particularidades e usos em: convencionais, expansivas, pré-fragmentadas e especiais. As convencionais são as mais ordinárias e usualmente são feitas de chumbo e tem formato ogival. As munições expansivas têm efeito de achatamento em seus projéteis quando atingem o ponto. As pré-fragmentadas tem pontas de plástico recheadas com microesferas de chumbo. Finalmente, as especiais, são as de alta velocidade (acima de 610 m/s), próprias para alvo ou de treinamento (Neto; Santos; Issa, 2023).

O cartucho de arma de fogo é dividido em estojo, espoleta, propelente e projétil. O elemento principal da munição, o projétil, é o mecanismo que atingirá alvo após ser disparado. A alteração de formato do projétil juntamente com a pólvora modifica os efeitos na lesão. Os projéteis podem ainda ser encamisados (presença de jaqueta metálica) ou não (composto somente de chumbo) (Neto; Santos; Issa, 2023). Os propelentes podem ser convencionais ou *Non toxic ammunition* (NTA). Na Figura 4 está ilustrado o cartucho 9mm NTA de fabricação da Companhia Brasileira de Cartuchos (CBC).

As munições NTA são normalmente utilizadas em treinamentos e, diferente das munições convencionais, suas espoletas não são fabricadas com sais de chumbo e bário e seus projéteis também não são compostos de ligas de chumbo. O objetivo das NTA é a proteção do meio ambiente e da saúde dos seus manipuladores, já que seus gases não geram resíduos tóxicos durante o evento de tiro (CBC, 2024a).

Figura 4 - Cartucho de arma de fogo 9mm fabricação CBC e seus elementos



Fonte: CBC (2024a).

Os projéteis são divididos em ogival, ponta oca, canto vivo e semi-canto vivo (ponta plana) (Santos, 2020; Alves, 2023). Na figura 8 estão ilustrados os tipos de projéteis de fabricação da CBC, ogival (Figura 5-a), ponta oca (Figura 5-b), e ponta plana (Figura 5-c).

Figura 5 - Tipos de pontas de projéteis de calibre 9x19 mm da CBC: (a) ponta ogival; (b) ponta oca; (c) ponta plana



Fonte: extraído e adaptado de CBC (2024b).

Os projéteis de tipo ogival são os mais populares por terem penetração eficiente e pouco aumento da lesão provocada. Já o ponta oca é expansivo, provocando a dilatação

da lesão, resultando numa ferida de entrada muito maior que o diâmetro real do projétil. Enquanto o canto vivo tem uso exclusivo em alvos inanimados o semi-canto vivo tem uso geral, assim como o ogival (Santos, 2020).

Os cartuchos de arma de fogo de calibre 9x19 mm tem espoleta de fogo central, quantidade e composição de propelente variável de acordo com fabricante, lote e tipo de projétil (Alves, 2023). Pode ser chamado também de 9 mm Luger, 9 mm NATO ou 9 mm Parabellum. Tal calibre tem boa aplicação em combate pela eficiência, preço e maior além da já citada capacidade dos carregadores (Júnior, 2020).

Projétil é o componente da munição que deixa o cano da arma quando propelido. Os modelos mais atuais são classificados como projéteis de chumbo e projéteis jaquetados ou encamisados de metal. Os jaquetados são mais comumente utilizados em pistolas semiautomáticas, isto se deve a maior velocidade, para prevenir danos ao projétil e problemas de alimentação (Alves, 2023).

As jaquetas podem ser compostas por cobre puro ou uma mistura de zinco. Podem ser parcialmente ou completamente jaquetados, sendo este último o mais utilizados pela corporação militar. O amparo evita a impregnação de fuligem no cano, reduz a contaminação por chumbo e diminui o atrito com a arma (Alves, 2023).

A variação do formato da ponta dos projéteis altera os efeitos de cavidade temporária e permanente (De Queiroz, 2016). Os projéteis do tipo ogival têm uso genérico, boa penetração e pouca expansão. Os projéteis “ponta oca” expandem quando atingem seu alvo, produzindo uma lesão mais destrutiva nos tecidos atingidos. Já os “ponta plana” tem a mesma aplicação que o tipo ogival, sendo escolhida, muitas vezes, por estar envolvida em menos panes em que a causa é a munição (Fackler; Bellamy; Malinowski, 1988; Santos, 2020).

2.3 Balística Forense e Perícia Criminal no Combate ao Crime

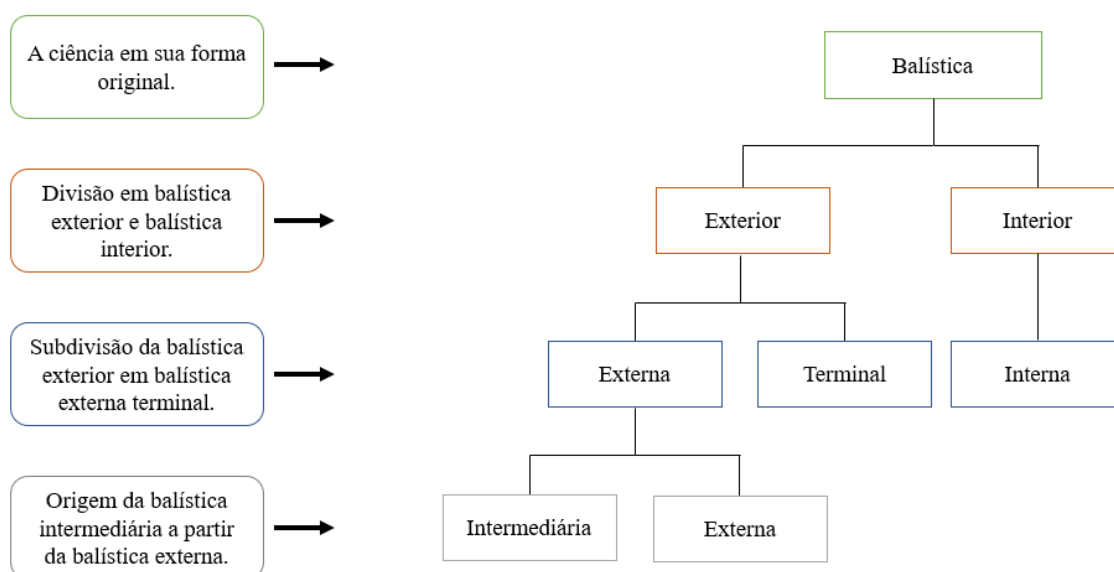
Todo aparato científico empregado para a solução de crimes e que se relaciona ao Direito Penal é considerado como uma Ciência Forense. O emprego das técnicas não se difere nos métodos, mas sim na sua aplicação. Este uso tem destaque a partir do Século XIX com a tentativa de vincular um projétil encontrado a uma arma questionada (Santos; Issa, 2023a).

A balística forense é o ramo da mecânica que descreve e explica a movimentação dos elementos balísticos. Nela se utilizam as propriedades físico-químicas e de química analítica para realizar os exames (Croce; Croce Júnior, 2012; Pereira, 2022; Scaglia, 2019; Vanrell, 2019). Portanto, dentro das ciências forenses é o ramo científico que examina todo o movimento realizado pelos projéteis (Santos; Issa, 2023b).

Atualmente a balística forense se divide em quatro seções: balística interna (ou interior), intermediária (ou transicional), externa (ou exterior) e terminal (ou dos ferimentos/feridas) (Maiden, 2009; Humphrey; Kumaratilake, 2016; Rafferty, 2019; Santos; Issa, 2023a). Dentro destas há que se observar os elementos de tiro que se dividem em primários e secundários (Secretaria Nacional de Segurança Pública, 2017).

A balística interna estuda a estrutura e funcionamento das armas de fogo, inclusive sua fabricação (Tocchetto, 2021; Pereira, 2022). Já a balística intermediária se ocupa das análises do projétil quando sai do cano, mas ainda está sob ação dos gases (Neto, 2020). Enquanto a balística externa estuda a trajetória do projétil do momento que sai da boca do cano até atingir seu alvo (Pereira, 2022), a balística terminal/dos efeitos/do ferimento estuda os agentes que possam interferir nas características do projétil antes e depois de atingir seu alvo (Tocchetto, 2021). Na Figura 6 pode-se observar a divisão da balística forense conforme Santos e Issa (2023), sendo a terminal, objeto de estudo deste trabalho classificada como balística exterior ou terminal.

Figura 6 - Divisão da balística ao longo dos anos



Fonte: Adaptado de Santos e Issa (2023).

Um estudo que traz a importância da balística forense e da atualização constante de seus profissionais é o de Hamby *et al.* (2019) onde investigaram o erro de peritos ao identificar a correspondência entre projéteis e armas de fogo. Os dados foram analisados estatisticamente e correspondiam a respostas de 32 países diferentes. A taxa de erros ficou entre 0,015% e 0,053%, dependendo da correlação entre suas respostas. Concluíram que, com treinamento adequado e projéteis em boas condições, os examinadores podem identificar com sucesso as balas disparadas de canos raiados.

Esta pesquisa se limita às análises realizadas sobre a balística terminal (de efeito), observando as diferenças nos orifícios de entrada entre os achados macro e microscópicos em peças suínas e macroscópico em cartolinas quando há variação entre alvo e atirador. A experimentação dos cenários elencados busca simular eventos de tiro mesmo que estes sejam únicos e que possa haver alteração dos efeitos balísticos quando não é possível o controle das variáveis. Não serão analisados outros achados da traumatologia que não sejam lesões primárias ou secundárias, mas elas estão definidas na seção 2.4 deste trabalho.

A balística terminal ou da ferida também conhecida como balística dos ferimentos, tem sua praticabilidade no estudo das características que o projétil deixa nas vítimas e no trajeto que ele faz. Desta forma, esta área trata principalmente das observações da lesão de entrada, do trajeto e da lesão de saída. Os ferimentos de saída dependem de várias características que permitam que o projétil transfira a vítima, dentre elas: enfrentamento de diversas barreiras, tamanho do obstáculo a ser vencido, potencial de ignição da munição, dentre outros (França, 2018; Fernandes, 2019).

Os estudos da interação projétil-alvo podem ser aplicados a diversas superfícies como humanos, animais ou objetos (Santos; Issa, 2023a; Tocchetto, 2021; Santos, 2019). Além das observações com relação a interação entre projétil e anteparo, devem ser analisados ricochetes, alterações e choques. Ressalte-se que as análises das lesões não devem estar desvinculadas dos outros elementos do local de crime devido a possibilidade de incorrência em erro (Tocchetto, 2021).

As averiguações de balística terminal são de grande aplicação e notabilidade nos estudos periciais para a compreensão da dinâmica (Tocchetto, 2021) e o entendimento dos padrões de trajetória dos projéteis a sua capacidade de provocar lesões contusas ao perfurar o corpo da vítima e a formação de cavidades temporárias e permanentes.

Portanto, seu uso no contexto forense e sua contribuição no processo judicial tem se tornado cada vez mais um diferencial (Santos; Issa, 2023a).

Os conhecimentos sobre balística terminal devem ser interdisciplinares e envolver os peritos especialistas em balística, os engenheiros balísticos, os peritos de local de crime e ainda os peritos legistas. Isto se deve ao fato que, anteparos orgânicos, sejam vivos ou não, se relacionam de forma diferente quando interagem com os elementos balísticos e a não interação entre estes profissionais pode gerar lacunas do conhecimento (Fackler, 2001b).

A análise dos elementos tem importância jurídica, pois a depender da conjuntura da disposição das lesões são oferecidos subsídios que corroboram com a dinâmica dos fatos e auxiliam a concluir as posições entre vítima e atirador (Baptista, 2007). Há ainda uma dificuldade dos médicos legistas em identificar quais orifícios são de entrada ou saída, uma análise que deve ser minuciosa e depende dos elementos primários e secundários supramencionados (Baptista, 2007; Fackler, 1996).

A observação dos efeitos lesivos dos projéteis exige procedimentos rígidos de análise para que as diferentes variáveis possam ser estudadas individualmente e em conjunto. Para além do estudo da lesão em si, a busca identificação da arma utilizada pode ligar o objeto ao autor do fato (Hércules, 1997; Vinokurov, 2010). Desta forma, o interesse jurídico na balística forense, se baseia na pouca contestação de provas técnicas e na importância do seu uso nos tribunais. Sendo assim, os estudos na área, a publicação das pesquisas desenvolvidas e os novos experimentos auxiliam em impasses forenses encontrados cotidianamente (Siegel, 2020; Santos; Issa, 2023a).

É importante salientar que há diferença relevante entre a balística prática e a balística de pesquisa. A balística prática se resume às rotinas de laboratórios de balística que diariamente realizam diversos experimentos com rigor científico e metodológico, porém mais simples que as pesquisas do ramo. Já a balística de pesquisa exige preparações mais robustas, com análises mais complexas e o compromisso acadêmico de divulgação dos resultados. Do contrário, os laboratórios normalmente mantêm o sigilo de seus testes (Corner, 1950).

Devido às evoluções dos armamentos e munições os experimentos nos laboratórios balísticos devem ser sempre atuais pois a depender das alterações realizadas e tecnologias adicionadas podem apresentar diferentes fatores lesivos nos seus alvos. Por exemplo, os estudos que relacionam os impactos do uso de armas em diferentes regiões

anatômicas, apesar de pouco frequentes, podem contribuir com relação às pesquisas sobre efetividade dos armamentos (Holmes, 1952).

2.4 Traumatologia aplicada a balística

A traumatologia forense é a parte da medicina legal que analisa o efeito de fatores externos nos tecidos das vítimas e suas consequências. Além de examinar as lesões de forma médica, investiga a natureza e as consequências periciais dos danos encontrados (Santos; Issa, 2023d). Desta forma:

“...o ferimento balístico é uma lesão de ordem mecânica originada a partir de uma interação objeto-corpo em meio ativo (quando o projétil atinge uma vítima em movimento), ou ação mista (quando o projétil atinge uma vítima em movimento, onde um objeto perfurocontundente causa uma lesão perfurocontusa, uma vez que o projétil de arma de fogo somente perfura os tecidos humanos por contundi-los com energia suficiente para tal.” (Santos; Issa, 2023d).

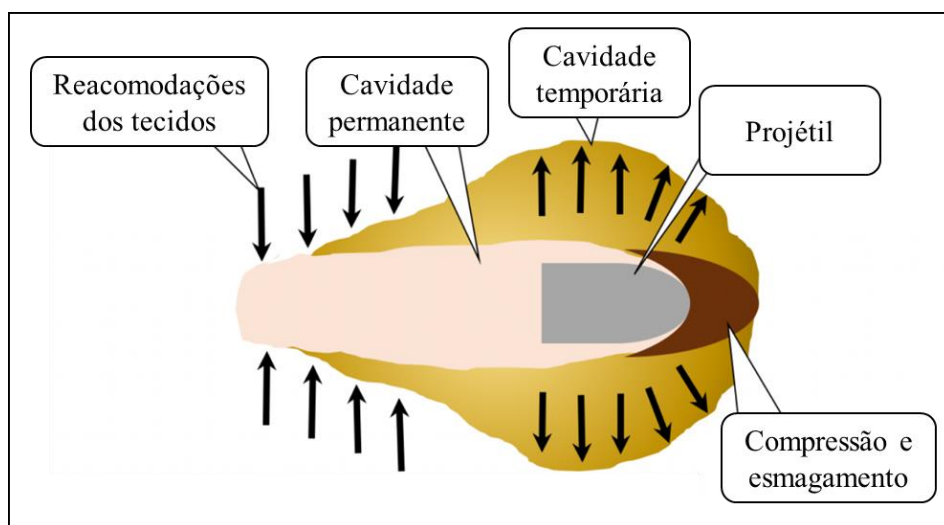
Sendo assim, a traumatologia trata a balística da ferida como uma vertente da balística dedicada ao estudo dos tecidos humanos ou animais como alvo. Essa disciplina auxilia os patologistas forenses a analisarem diversas características relacionadas aos ferimentos causados por armas de fogo. Pelo estudo das lesões podem ser estabelecidos o tipo de arma, o tipo de munição, se os ferimentos são de entrada ou saída, a região anatômica específica do alvo e a distância do disparo, os quais desempenham um papel decisivo na determinação da morfologia dos ferimentos provocados por armas de fogo (Prahlow, 2016).

O trauma por arma de fogo é diferenciado dos demais traumas, tendo a presença de vestígios de fuligem e pólvora nas bordas do ferimento. As propriedades do projétil e do tecido alvo influenciam na relação entre estes e na própria característica da ferida (Santos; Issa, 2023d). Há que se diferenciar os orifícios de entrada dos orifícios de saída sendo a presença de vestígios da combustão com efeitos primários e secundários de tiro típicos do orifício de entrada, o trajeto em que versam a cavidade temporária e a presença de orifício de saída que ocorre somente quando o projétil transfixa o seu alvo (Maiden, 2009; Alves, 2023).

O dano tecidual causado por projéteis resulta dos seguintes mecanismos: dilaceração e esmagamento devido à força direta, ondas de choque que comprimem os

tecidos atingidos devido à alta velocidade do objeto perfurocontundente e cavitação que é o dano temporário e permanente, formando o ferimento interno. A cavidade temporária se dá imediatamente após o contato com o projétil e, devido a elasticidade e reacomodação dos tecidos orgânicos, é diferente da cavidade permanente e correspondente ao trajeto do objeto em sua vítima (Ordog, 1984; Payne-James, 2015; Pettigrew, 2023). As características da lesão estão ilustradas na Figura 7.

Figura 7 - Esquema da lesão interna por projétil de arma de fogo



Fonte: Adaptada de Bosco (2024).

No que tange as lesões, a balística interna é de suma importância para o estudo da injúria, além de ser um fator fundamental nas estimativas de distância e sobre os resíduos de arma de fogo. Além do próprio projétil, os gases que o acompanham também infligem nas vítimas seus efeitos, na pele, pelos e vestes, quando o caso (Alves, 2023).

Balas de baixa velocidade tendem a seguir planos de tecido e podem se mover ao redor de estruturas importantes sem causar danos. É importante considerar a ampliação ao calcular o tamanho de uma bala em radiografias (Ordog, 1984; Payne-James, 2015). Os estudos de Gascho *et al.* (2020a; 2020b) afirmam que a ressonância e a tomografia podem ser complementares entre si desde que a tomografia seja feita antes pois a ressonância pode alterar, de forma discreta, a posição dos projéteis. Tais exames podem ser diferenciais nas avaliações do trauma sendo que a ressonância se mostrou mais precisa, principalmente em casos de projéteis retidos que escurecem imagens na tomografia. Também o estudo de Alves *et al.* (2020) concluiu que a tomografia é uma

boa ferramenta para esclarecimentos de exames médico-legais desde que respeitada sua limitação de imagem.

2.4.1 Lesões de Entrada

Conforme define Alves (2023), uma lesão de entrada produzida por um PAF possui:

(1) um defeito ou perfuração cutânea central circular (orifício de entrada); (2) um halo circular de limpeza feito pelo projétil (orla de enxugo); (3) o anel de contusão (também chamado de orla de escoriação ou orla de contusão); (4) a margem de distensão (também chamada de aréola equimótica ou orla de equimose).

As lesões por arma de fogo em alvos orgânicos produzidas pelos projéteis quando atingem a superfície, podem ser primárias ou secundárias (Secretaria Nacional de Segurança Pública, 2017). As lesões primárias de tiro são produzidas pela ação mecânica do projétil, com rompimento de epiderme e estruturas adjacentes e independem da distância de tiro (Baptista, 2007; Alves, 2023), conforme ilustrado na Figura 8. Já as secundárias resultam da ação dos propelentes que são expelidos juntamente com o projétil quando a arma de fogo produz o evento de tiro com resíduos de pólvora combusta e incombusta, funcionando como microprojéteis (Maiden, 2009; Haag; Haag, 2020a; Alves, 2023; Santos; Issa, 2023c).

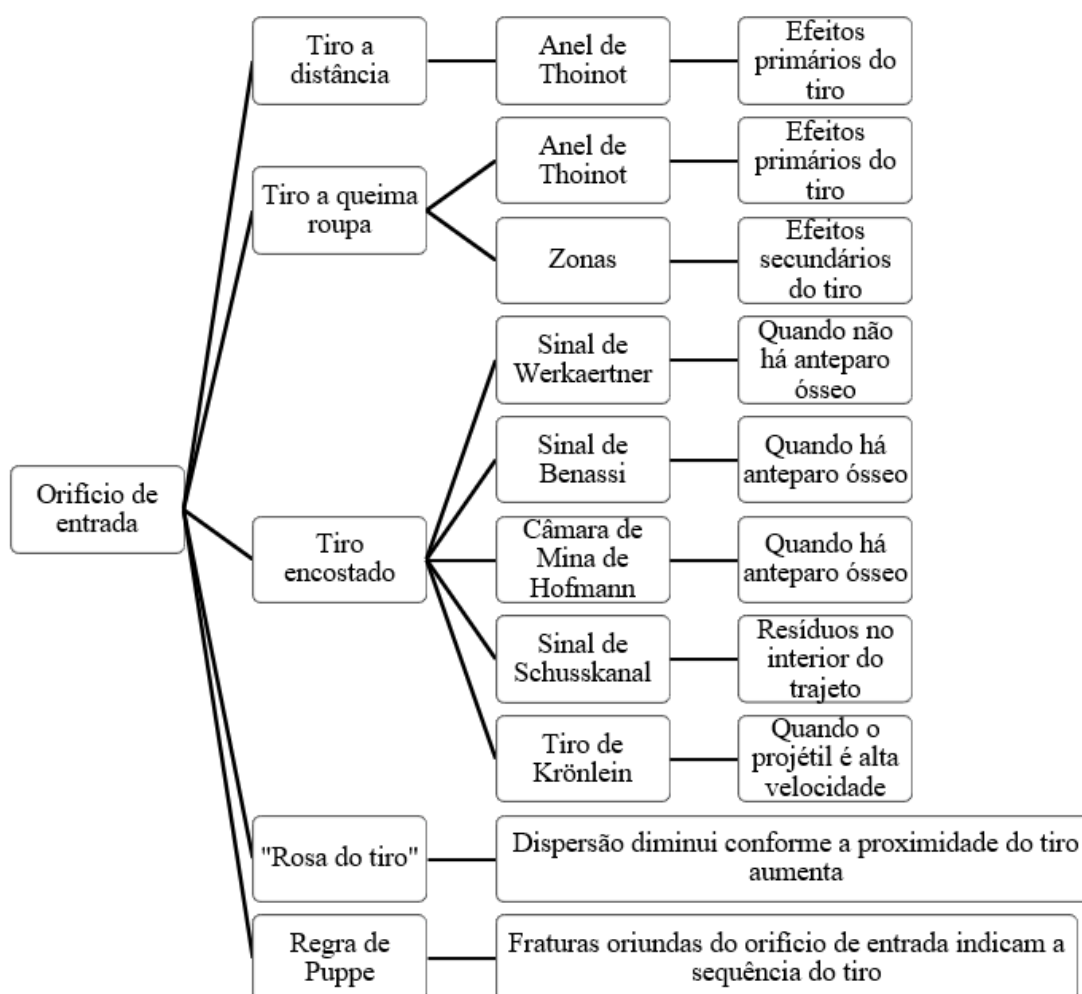
Figura 8 - Lesão primária por arma de fogo com orla de enxugo (seta amarela), zona de escoriação (seta verde) e aréola equimótica (seta vermelha)



Fonte: Galvão, 2008.

As características das lesões de entrada podem variar de acordo com distância entre atirador e alvo, podendo ser tiros de encosto, a curta distância ou a longa distância. A análise das lesões permite realizar a estimativa dessa distância. Além disso, a destruição dos tecidos também é diferente conforme o calibre, presença ou não de jaqueta e velocidade de impacto do projétil (Fackler, 1996; Peonim *et al.*, 2016; Santos; Issa, 2023d). Na Figura 9 observamos um fluxograma adaptado de Santos e Issa (2023d) que elenca alguns atributos dos orifícios de entrada e feridas produzidas por um ou mais projéteis.

Figura 9 - Fluxograma de características de orifícios de entrada



Fonte: Adaptado de Santos e Issa (2023d).

Os tiros de encosto ou encostado apresentam ação da chama e dos gases da combustão da pólvora além dos sinais apresentados pelo projétil. Destacamento de pele, dilaceração de tamanho significativo e forma estriada. Tem aspecto escurecido por ação contusa do mecanismo e da deposição da fuligem concentrada em volta da lesão (Santos; Issa, 2023d).

Já os tiros à curta distância ou a queima-roupa apresentam ao redor da ferida, além dos efeitos primários, os efeitos secundários (tatuagem, enfumaçamento e queimadura). Quanto maior a distância maior será o raio destes efeitos secundários até os mesmos não alcançarem o alvo, caracterizando tiro à distância (Santos; Issa, 2023d).

Entretanto nos tiros à distância as características que prevalecem são os da ação mecânica porque os gases e elementos combustos e incombustos não alcançam o alvo. Por conta da elasticidade dos tecidos, o orifício formado tende a ser menor que o diâmetro do projétil, com exceção de locais que a pele está esticada ou amparada em estruturas ósseas como o crânio. Neste último caso a lesão pode apresentar a mesma amplitude ou até maior (Santos; Issa, 2023d).

Outros achados nas lesões podem estar associados a quantidade de projéteis que atingem a superfície. Por exemplo, a rosa do tiro é uma lesão particular gerada quando há o lançamento de mais de um projétil que, após deixarem a boca do cano, se separam dando a forma de rosa (Barros, 2002). A especificidade desta ferida é ser produzida apenas por munições com projéteis duplos (De Castro, 2021; Segundo *et al.*, 2013). Outro achado é a Regra de Puppe, a qual apresenta-se por múltiplas fraturas quando há diversos orifícios de PAF produzidos. As linhas produzidas pelos orifícios subsequentes serão interrompidas pelas raias produzidas anteriormente, sendo assim, possível, uma estimativa da ordem de produção dos tiros (Durão; Machado, 2015; Pirocca, 2022).

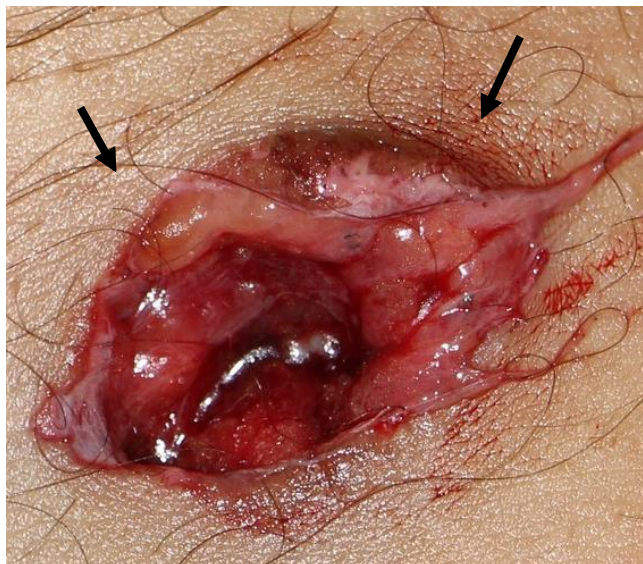
2.4.1.1 Lesões Primárias

As lesões primárias encontradas nas lesões por arma de fogo podem ser denominadas de Orla de Enxugo, Zona de Escoriação e Aréola Equimótica, como ilustrado anteriormente (Figura 8). A Orla de Enxugo é um tipo de lesão primária que está presente apenas em lesões de entrada (Baptista, 2007). A zona de escoriação não é exclusiva de lesões de entrada e pode estar presente em muitas lesões de saída. A areóla

equimótica é produzida pela ação mecânica do projétil e é a reação vital de micro hemorragias causada pelos rompimentos de capilares.

A lesão Orla de Enxugo, Halo de Enxugo ou Orla de Chavigny apresenta bordas escuras, as quais estão invertidas no sentido de produção externo-interno (de fora para dentro). Este achado é produzido pelo atrito do projétil com os tecidos, depositando na pele as impurezas que o acompanham. Tem forma circular nos eventos em que o atirador está posicionado verticalmente e a arma a 90° aproximadamente, e formato meia-lua em tiros diagonais, conforme ilustrado na Figura 10. A tonalidade é geralmente escurecida pela deposição das sujidades que acompanham o projétil (França, 2018).

Figura 10 - Orla de enxugo destacada pelas setas sinalizadoras



Fonte: Galvão, 2008.

Como apontam Pollak e Rothschild (2004) quando citam o experimento de Sellier em 1967, a perda da epiderme ao redor do ferimento não são produto do atrito com o projétil ou a extensão da pele, mas sim pela impulsão desta estrutura no sentido da entrada do tiro. Tais teorias são reforçadas nos estudos e experimentos alemães da área de balística forense.

A zona ou orla de escoriação ou de contusão é formada pelo atrito do projétil com a pele da vítima. A descamação da pele é característica da mesma, descolando a epiderme da derme, como é possível observar na Figura 11. Corresponde à ação traumática do choque pelo movimento tangente e circular do projétil. Todas estas características supracitadas são correspondentes a reação *in vivo*, no entanto, no cadáver a lesão vai

apresentar pergaminhamento e ausência de desidratação tissular mesmo em momento imediato *post mortem* (Croce; Croce Júnior, 2012).

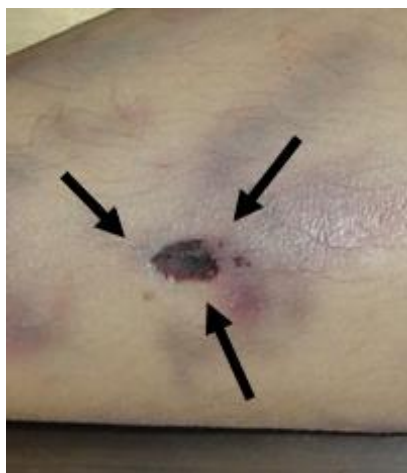
Figura 11 - Orla de escoriação com pergaminhamento e ausência de desidratação indicados com o destaque das setas sinalizadoras



Fonte: Galvão, 2008.

A aréola equimótica ou equimose é a infiltração dos tecidos pelo sangue e sua consequente coagulação por ação do projétil, conforme ilustra a Figura 12. O rompimento de capilares, a infiltração de sangue nos tecidos adjacentes gera um aspecto puntiforme deste extravasamento, formando petéquias circulares. Pode demorar horas após a lesão para se manifestar e ainda não se manifestar no local da lesão, como na contusão cranioencefálica que resultam em equimoses nas pálpebras (Croce; Croce Júnior, 2012).

Figura 12 - Aréola equimótica destacada pelas setas sinalizadoras



Fonte: Galvão, 2008.

2.4.1.2 Lesões secundárias

As lesões secundárias resultam dos gases e materiais combustos e incombustos, vestígios mais frágeis que podem se depositar nas vestes e serem perdidas durante o exame pericial (Baptista, 2007). Os efeitos secundários são produtos da relação indireta do projétil com a superfície e estão presentes somente nos tiros a curta distância, como ilustrado na Figura 13 (Santos; Issa, 2023d).

Figura 13 - Lesão secundária por arma de fogo



Fonte: Galvão, 2008.

Conforme Baptista (2007), zona de queimadura é uma lesão secundária, fruto da ação dos gases propelidos pela arma de fogo após o disparo da munição, podendo haver descolamento entre epiderme e derme e a deposição de pólvora. A zona de enfumaçamento é a fixação do produto da combustão da pólvora, de fácil remoção com lavagem. Já a zona de tatuagem é produzida pelos grânulos de pólvora combustos ou não em contato com a epiderme, divergente do esfumaçamento, não é removível com a lavagem da pele, e encontrada em lesões de entrada.

A Zona ou Halo de tatuagem tem formato circular em tiros perpendiculares e se caracteriza pela penetração de grãos de pólvora não combusta que, como microprojéteis, entram em contato com a pele da vítima, como apresentado na Figura 14. Sua ausência, presença ou disposição orienta a perícia sobre a posição da vítima em relação ao agressor. Como é um vestígio de deposição, se houver roupas ou outra cobertura próxima à lesão, a tatuagem pode ficar nestas superfícies (Croce; Croce Júnior, 2012; França, 2018).

Quando em contato com a pele, se torna um sinal permanente, não sendo removível no processo de higienização cotidiano. Sua forma circular tem maior ou menor

diâmetro a depender da distância entre alvo e atirador e, quanto mais próximo do orifício de entrada, maior a concentração dos “pontos de pólvora” (Croce; Croce Júnior, 2012).

Figura 14 - Zona de tatuagem onde é possível observar a incrustação de resíduos comburidos ou não



Fonte: Galvão, 2008.

A Zona ou Orla de enfumaçamento ou Negro de Fumo, conforme definem Croce e Croce Júnior (2012), decorre do depósito da fuligem na pele da vítima, criada pelo repouso das partículas finas da pólvora combusta. Como é removível por higienização, pode ser chamada também de falsa zona de tatuagem. Da mesma forma que a tatuagem, se há presença de roupas ou outro meio de proteção, é nestas estruturas que a maior parte do vestígio ficará, conforme se percebe na Figura 15. Tem aspecto espesso e opaco e ultrapassa a Zona de Tatuagem. Assim como a tatuagem, é mais concentrada no centro e mais branda quanto mais se distancia da ferida (França, 2018).

Figura 15 - Zona de enfumaçamento destacada pelos círculos a concentração de elementos combustos e fuligem



Fonte: Sistema de apoio a aprendizagem de medicina legal (Galvão, 2008).

A Zona de queimadura ou Zona de Chama ou Zona de Chamuscamento é resultado das ações dos gases hiper aquecidos e das chamas que saem da boca do cano da arma. Dá aspecto empergaminhado, vermelho escuro ou da cor da pólvora, conforme a Figura 16. Nos tiros de encosto provocam a queimadura de vestes, pele e pelos.

Figura 16 - Zona de queimadura destacada pelas setas as lesões produzidas pela ação dos gases propelidos que estão superaquecidos ao atingiram a superfície do alvo



Fonte: Galvão, 2008.

2.4.1.3 Lesões de entrada especiais

Em vários ramos das medicinas os epônimos são utilizados mesmo que estejam progressivamente caindo em desuso. Os termos aplicados na balística terminal estão relacionados à escola de patologia forense alemã. Tal uso foi difundido com o objetivo de abreviar termos técnicos da área (Santos; Issa, 2023d).

A lesão de Câmara de mina de Hofmann se apresenta quando no tiro de encosto há o anteparo ósseo. Os gases retornam em direção contrária, o que desconfigura as margens do orifício de entrada podendo ser confundida com orifício de saída, se não for corretamente estudada. Tem formato indefinido, forma de estrela e bordas enegrecidas, como apresentado na Figura 17 (Santos; Issa, 2023c).

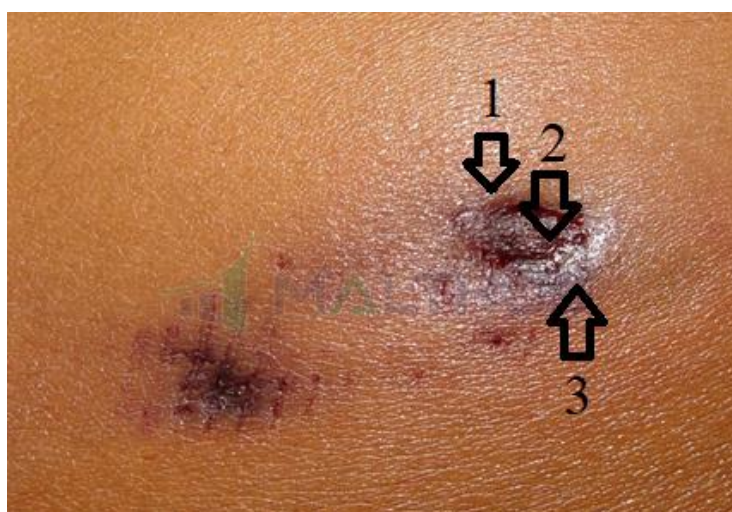
Figura 17 - Câmara de Mina de Hofmann



Fonte: Galvão, 2008.

O Anel de Fisch ou Anel de *Thoinot* é a combinação dos efeitos primários de tiro: a Orla de Enxugo, Orla de Escoriação e a Orla Equimótica. Esse conjunto de fatores costumam ser os únicos observados em tiros a distância. Estão associados aos efeitos secundários em tiros de curta distância (Santos; Issa, 2023c) e podem ser observados na Figura 18.

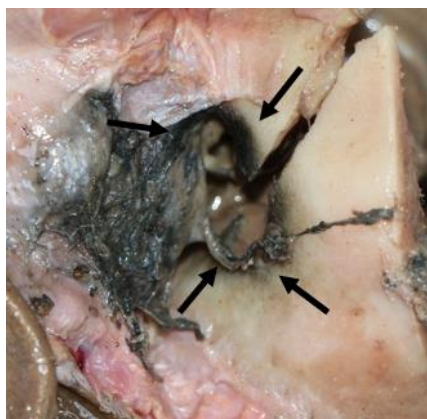
Figura 18 - Anel de Fisch setas destacando a orla de enxugo (1), orla de escoriação (2) e a orla equimótica (3)



Fonte: Adaptado de Galvão, 2008.

O Sinal de Benassi, de forma similar à Câmara de Mina de Hofmann, ocorre quando há anteparo do osso, ficando a fuligem impregnada no tecido ósseo dando cor enegrecida a este. Esta característica é permanente, podendo ser observada mesmo em estado de esqueletização da vítima. Se concentra na borda do tecido ósseo e é sinal de orifício de entrada podendo ser observada na Figura 19 (Santos; Issa, 2023c).

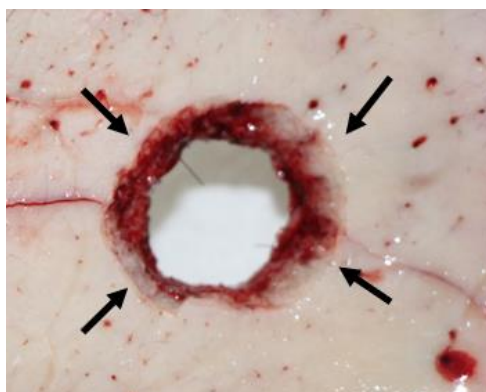
Figura 19 - Sinal de Benassi onde as setas indicativas destacam a impregnação de fuligem na lâmina óssea



Fonte: Galvão, 2008.

O sinal do Funil de Bonnet é um evento de formação de cone na estrutura óssea. Tem formato progressivamente maior em ossos planos, no sentido do projétil. O orifício de entrada é menor que o de saída como demonstra a Figura 20. Auxilia no estabelecimento do sentido de produção e ângulo do tiro. Tem bordas irregulares e o chanfrado é característico (Santos; Issa, 2023c).

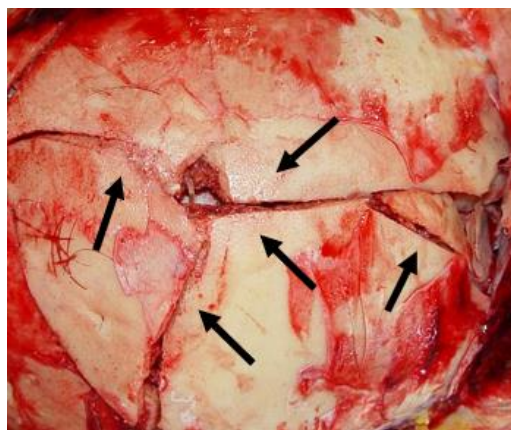
Figura 20 - Sinal do funil de Bonnet onde o destaque demonstra o sentido de produção do tiro em formato de cone



Fonte: Galvão, 2008.

A Regra de Puppe é um preceito a contemplar ferimentos contusos como um todo, mas tem sumária importância para a traumatologia aplicada para a balística forense, pois os sinais impressos pelas fraturas permitem estabelecer a ordem dos ferimentos, conforme vemos na Figura 21. Este ordenamento é de suma importância nas considerações técnico-científicas (Santos; Issa, 2023c).

Figura 21 - Regra de Puppe onde se observa as diversas fraturas em destaque na imagem



Fonte: Galvão, 2008.

O Sinal de Werkgaertner é encontrado quando a lesão é gerada por tiros de encosto e não há formato estrelar, e é vista uma queimadura de 1º grau característica quando a ferida é localizada nas têmporas, espaços intercostais ou parede abdominal. Este sinal grava na pele a boca do cano da arma, sua massa de mira, armação e/ou guia da mola recuperadora, as duas últimas apenas em pistolas, produzida pela contusão e aquecimento, como demonstrado na Figura 22. A marca pode estar incompleta devido ao recuo da pistola (Santos; Issa, 2023c).

Figura 22 - Sinal de Werkgaertner onde as marcas provocadas estão em destaque



Fonte: Galvão, 2008.

Sinal de dispersão de Cevidalli ou Rosa de Tiro é gerado por múltiplos projéteis, tais como os balins de cartuchos de armas de alma lisa, tipo a espingarda. Considera-se que os projéteis são lançados juntos, se separando imediatamente após. A maior circunferência deste sinal indica uma maior distância entre atirador e alvo porque a dispersão cônica é progressiva na sua trajetória, como ilustra a Figura 23 (Croce; Croce Júnior, 2012; Santos; Issa, 2023c).

Figura 23 - Sinal de Dispersão de Cevidalli onde se formam diversas combinações de formatos produzidos pelo contato da superfície com múltiplos projéteis simultâneos



Fonte: Galvão, 2008.

O Tiro de Krönlein sinaliza a procidência de tecido cerebral, devido a ação de projéteis de arma de fogo em tiros de encosto ou a curta distância. O impacto dentro da caixa craniana e a produção da cavidade temporária resulta no extravasamento pelo orifício de saída de um ou dois hemisférios do conteúdo cerebral, como pode ser visto na Figura 24 (Santos; Issa, 2023c).

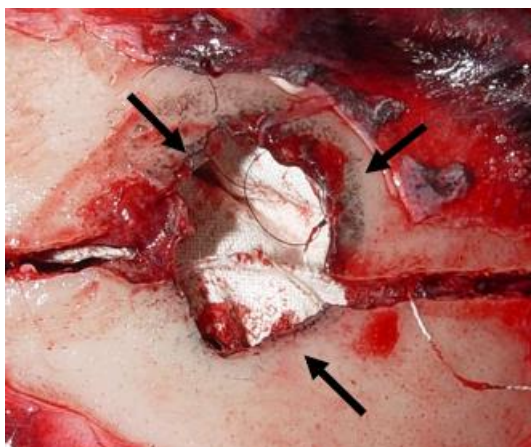
Figura 24 - Tiro de Krönlein com extravasamento de tecido cerebral



Fonte: Galvão, 2008.

O Sinal de Schusskanal é marcado pela deposição de fuligem nas paredes ósseas em tiros de encosto, o efeito secundário de enfumaçamento não se deposita na pele, mas sim, no interior do funil balístico criado pela ferida, como demonstrado na Figura 25. Pode ser acompanhado do sinal de Benassi, da câmara de mina de Hofmann, o funil de Bonnet e até mesmo o sinal de Werkgaertner.

Figura 25 - Tiro de Schusskanal onde a fuligem deposita na lâmina óssea através do atrito com o projétil



Fonte: Galvão, 2008.

2.4.2 Lesões de saída

Outra lesão de interesse é a do orifício de saída. Podem ser produzidas por projéteis ou por objetos atingidos por eles, tais como ossos, partes das vestes, cartilagens

e outros fragmentos orgânicos. Suas bordas são irregulares e evertidas com sentido de produção interno-externo (de dentro para fora), conforme esboçado na Figura 26 e das lesões, primárias e secundárias, apenas aréola equimótica podem estar presentes e, orla de escoriação caso haja resistência dos tecidos na saída (Baptista, 2007; Maiden, 2009).

Figura 26 - Lesão de saída produzida por projétil de arma de fogo



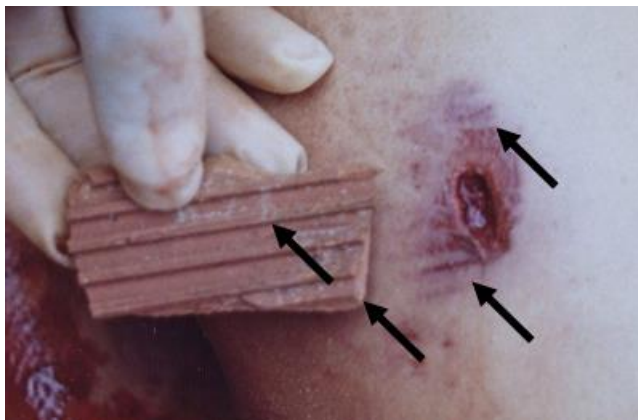
Fonte: Galvão, 2008.

Só estão presentes em casos de transfixação e tem o diâmetro maior que o real do projétil independente da distância entre atirador e alvo. Pode um mesmo orifício de entrada ter mais de um orifício de saída se houver a fragmentação do projétil ou geração de projéteis secundários como nas fraturas ósseas e dentárias (Santos; Issa, 2023d).

Será igual ao orifício de entrada somente quando o ângulo de incidência, a tensão e a elasticidade do projétil forem iguais. Isso ocorre quando a velocidade do projétil é muito alta e o projétil não se fragmentar. Será maior quando o projétil agir de forma perpendicular, sofrer rotação, estiver acompanhado de corpos estranhos ou quando a tensão for maior no ponto de saída. Será menor quando o projétil penetrar de forma oblíqua, quando a elasticidade for maior no ponto de saída e a tensão maior no ponto de entrada (Santos; Issa, 2023d).

Tal como algumas lesões de entrada, há casos que as lesões de saída recebem nomes especiais, conhecidos como epônimos. É o caso do Sinal de Romanese que é produto da ação de dentro para fora quando há anteparo no orifício de saída, evertendo as bordas, produzindo contusão que imprimem suas características superficiais na pele da vítima, como demonstrado na Figura 27. Representa a rizeza do invólucro, com orla de contusão, escoriação e/ou equimose pela ação contrária ao suporte (Santos; Issa, 2023c).

Figura 27 - Sinal de Romanese



Fonte: Galvão, 2008.

2.4.3 Estimativa de distância de tiro

A estimativa de distância de tiro pretende calcular o intervalo aproximado entre atirador e alvo, correspondendo a três faixas: contato, curta distância e longa distância (Santos; Issa, 2023d). Tal divisão leva em consideração a concentração e arranjo dos vestígios da queima do propelente e da própria ação do projétil (Alves, 2023).

A estimativa da distância tem notabilidade jurídica e é aplicável quando envolve terceiros ou ainda quando a situação é de acidente ou autoextermínio. Este cálculo é sabidamente uma dificuldade médico-legal pelos repetidos atos de impugnar, sejam da defesa ou acusação diante de julgamentos. Sendo assim, esta distância é intervinda pelas balísticas interna, intermediária e externa, além do formato e velocidade do projétil. O deslocamento do projétil além de ser alterado por sua velocidade sofre influência da orientação, que varia com os ângulos de ataque e incidência. O cômputo de tais informações podem ser indispensáveis a depender do caso (Alves, 2023).

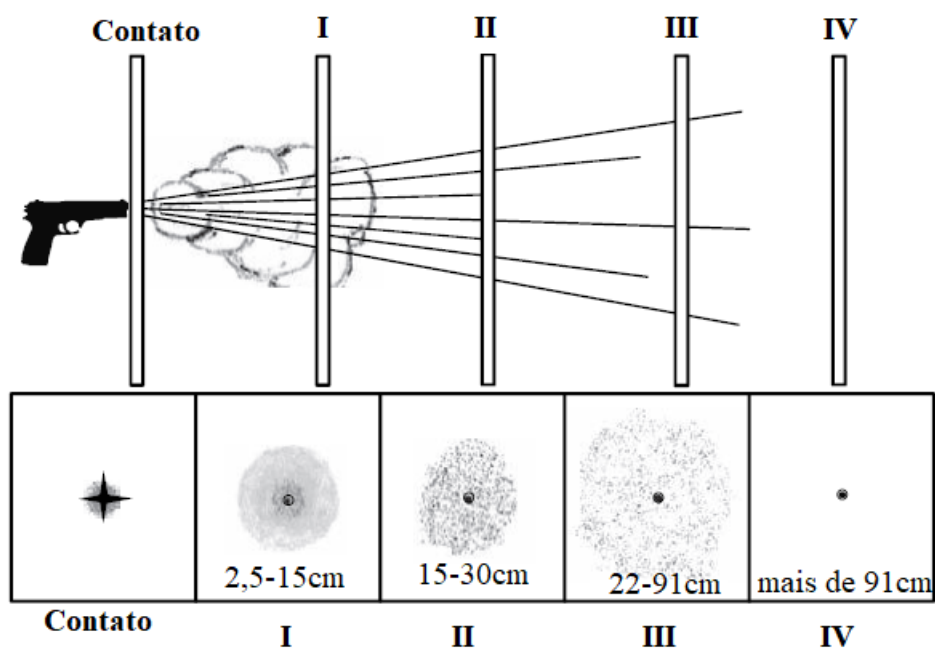
As tecnologias atuais que estão acessíveis para a estimativa de distância de tiro se limitam a 3 metros entre atirador e alvo, o que varia de acordo com a arma e características da munição (Alves, 2023). Porém, não há valores fixos definidos sobre as distâncias (Santos; Issa, 2023d) mas Alves (2023) traz que os tiros a curta distância estão no intervalo entre poucos centímetros da pele e 150 cm, sendo o tiro distante é considerado a partir deste valor. Já Haag e Haag (2020a) defendem que se pode considerar tiro a distância a partir de 91 cm, enquanto Frank (2016) estima que este limite dos tiros de curta distância seja de 75 cm.

Os estudos referidos (Santos; Issa, 2023d; Alves, 2023; Haag e Haag; 2020a; Frank, 2016) não citam a metodologia utilizada para tais estimativas, o tipo de arma utilizada ou mesmo o tipo de munição. Tais fatores são diferenciais para os cálculos da distância entre atirador e alvo (Leoncini, 1922; Alves, 2023).

Na Figura 28 está ilustrado os intervalos definidos por Haag e Haag (2020a), sendo eles: contato que varia entre 0 e 2,5 cm; faixa I entre 2,5 e 15 cm onde há uma maior acúmulo de fuligem e pólvora não comburida; faixa II entre 15 e 30 cm a fuligem é menos concentrada e há a deposição de pólvora ao redor da lesão; faixa III entre 22 e 91 cm não há fuligem e a pólvora se dispersa de forma circular a partir da ferida; e faixa IV que considera distâncias maiores que 91 cm não aparenta os vestígios propelidos pela arma, exibindo apenas o ferimento.

Há o intervalo coincidente entre as faixas II e III pois os autores Haag e Hagg (2020a) assumem um limite de incerteza de 30 cm. Porém, tal intersecção não influencia nas considerações pois estes intervalos correspondem a tiros de curta distância. Os mesmos autores afirmam que as investigações consideram diferenciais o estabelecimento da distância entre curta ou longa.

Figura 28 - Distância de tiro estimada



Fonte: Haag e Haag (2020a).

Na Figura 28, a distância entre atirador e alvo é dividida em quatro zonas. A Zona I tem grande concentração de pólvora não combusta e parcialmente combustas ao redor da ferida, o que proporciona uma escura mancha. Já na Zona II esse produto da queima é ameno, formando um círculo ao redor da lesão, a presença de tatuagem é possível. Na Zona III a fuligem é invisível, mas há ao redor da perfurocontusão uma concentração de pólvora e a zona de tatuagem tem diâmetro menor que na Zona II. E finalmente na Zona IV não há produtos para além da lesão de entrada.

Outro aspecto a ser analisado para estimar a distância de tiro é o diâmetro da zona de tatuagem e enfumaçamento. Este tamanho transverte conforme tipo e modelo da arma além da mistura propelente. A ausência de efeitos secundários define que o tiro foi de encosto, longa distância ou que a vítima estava vestida ou protegida por outro tipo de cobertura (Leoncini, 1922).

A concentração dos produtos expelidos pela arma somado com a dimensão deste padrão é um fator de estimativa se for utilizada a mesma arma, mesma munição em situação semelhante ao fato (Haag; Haag, 2020b). Santos (2010) afirma que a dispersão dos resíduos que formam as zonas de esfumaçamento e tatuagem variam entre 20 e 30 cm.

Um estudo que buscou estimar diferentes distâncias de tiro foi o de Schyma *et al.* (2020) que analisou as cavidades temporárias para a diferenciação de casos de homicídio e suicídio, testando armas de calibre .32 Auto, .38 Special e 9x19 mm em cubos de gelatina de 12 cm de aresta nos marcos 1, 2, 3, 5 e 10 cm. Nos seus achados os vestígios de tiros com a distância de 10 cm do alvo as cavidades temporárias se mostraram semelhantes aos tiros a distância, tendo como diferenciação apenas os efeitos secundários. Outra conclusão que chegaram foi que somente a partir de 3 cm são detectáveis os efeitos balísticos de ferimentos causados pela pressão dos gases da boca do cano.

Outro estudo que versou sobre a estimativa de distância de tiro foi o de Miranda *et al.* (2019) que investigou a capacidade da discriminação técnica utilizando a difração de Raio-X para a determinação de distância de tiro. A técnica de regressão dos mínimos quadrados parciais foi a mais adequada para correlacionar a distância de disparo e quantidade de *Gunshot Residue* (Resíduo de arma de fogo) (GSR) nos alvos. As distâncias variaram entre 5 e 300 cm e as maiores distâncias foram mais desafiadoras porque a quantidade de GSR diminui conforme aumenta a distância. Os valores foram corrigidos com a deformação otimizada por correlação. Os erros na estimativa de distância quando

utilizado uma única arma variaram de 3 a 7% e quando associadas duas armas subiu para 14%.

Ainda o estudo de Wongpakdee *et al.* (2021) demonstrou que a estimativa de distância de tiro por análise das imagens dos resíduos se mostrou aplicável nos dois métodos observados: análise de imagens digitais de tecidos brancos e dispositivo analítico microfluídico baseado em papel (μ PAD) que analisou a presença de chumbo no tecido. O método de imagem utiliza câmera digital e software gratuito, já o μ PAD não usa outros instrumentos e mede o comprimento da banda formada pelo complexo rosa de Chumbo-rodizonato. O método se mostra adequado em diversos tecidos desde ajustado.

O halo cinza formado pela fuligem ficou ausente em distâncias maiores que 50 cm. Não se aplica esta técnica experimentada por Wongpakdee *et al.* (2021) em tecidos escuros ou padrões coloridos. Sendo assim, quando o tecido estiver com sangue em excesso (embebido) a leitura pode ser dificultada. Outro fato que deve ser levado em conta é que esta análise se baseia na fuligem, que é um vestígio sensível principalmente a água.

2.4.3.1 *Tiros de encosto*

Quando o cano está encostado ou a poucos milímetros da vítima alguns aspectos são indicados. Devido à proximidade, a posição do cano não permite o escape dos gases, o que acarreta algumas características as lesões produzidas. Tem um aspecto concêntrico, com bordas arredondas e escurecidas. Os gases podem produzir riscas, deixando as bordas irregulares. Quando há superfície óssea adjacente esta ação pode gerar peculiaridades porque os ossos servem de bloqueio físico aos gases, gerando consequências como abrasão e deposição de fuligem. Estes sinais se impõem também as vestes (Alves, 2023).

Nesta distância tanto o projétil quanto o calor gerado agem diretamente provocando a lesão produzida. Os elementos comburidos acabam tendo um potencial lesivo maior, principalmente em regiões que haja suporte de estrutura óssea. Esta proximidade pode gerar o estouro dos tecidos adjacentes à ferida, um aspecto que se assemelha às lesões de saída (Santos; Issa, 2023d).

Os indicadores mais ordinários dos tiros de encosto são câmara de mina de Hofmann, sinal de Werkgaertner, sinal de Benassi, sinal de Schusskanal. As características morfológicas das feridas envolvem o esmagamento dos tecidos proximais

em razão do calor produzido pela explosão. O fracionamento cutâneo é efetuado de sentido interno-externo, com o impedimento mecânico – obstrução da boca do cano – nada produto da explosão escapa, entrando totalmente no corpo da vítima (Santos; Issa, 2023d).

2.4.3.2 *Tiro a curta distância*

Além do anel de Fisch estão nos tiros à queima-roupa as zonas de tatuagem, zona de queimadura e zona de enfumaçamento. Da mesma forma que a associação de orla de enxugo, orla de escoriação e orla de equimose formam os efeitos primários de tiro, as zonas de tatuagem, queimadura e enfumaçamento consistem nos efeitos secundários de tiro (Santos; Issa, 2023d). Os projéteis produzem a crestação de pelos e cabelos, apergaminhamento da epiderme e depressão da pele quando a lesão é *in vivo* (Croce; Croce Júnior, 2012).

O que melhor caracteriza os tiros a curta distância é a presença dos efeitos dos gases na vítima. Tais como a tatuagem, produzida a partir do contato dos grãos de pólvora que não sofreram queima com a pele, ainda com reação vital. São salpicos concêntricos à lesão, com distâncias maiores conforme se afastam da mesma. A distância faz com que a ação dos gases não alcance seu alvo, portanto, perdendo seu potencial lesivo e por consequência os sinais que derivam destes (Alves, 2023).

A pólvora combusta se transforma em um pó mais fino, tal como uma fuligem produto da queima da pólvora que impregna na pele. Além disto, a epiderme pode desprender-se da derme. Tais fatores são nominados como zona de enfumaçamento e zona de queimadura (Alves, 2023). As substâncias propelidas pelo cano, resíduos inorgânicos de tiro, produzem tais efeitos secundários (Santos; Issa, 2023d).

Leoncini (1922), autoridade italiana da medicina legal, afirma que a queimadura é produzida pelos resíduos sólidos que produzem uma grande chama na boca do cano e não pelos gases. Essas lesões são classificadas de primeiro, no máximo segundo grau da pele e efeitos nos pelos ou cabelos próximos à ferida. Os achados podem ser observados macro e microscopicamente, observando a alteração por encaracolamento das estruturas capilares e impregnação de derivados do carbono.

A queimadura pode ser ainda produto da inflamação das substâncias contidas na munição. Estes elementos conseguem alcançar um deslocamento maior que os gases e

por isso, mesmo quando a arma está numa distância maior, produzem efeitos secundários. A queimadura pode, a princípio, ser confundida com o halo de escoriação devendo ser distinguida pela presença de dois halos concêntricos, sendo o exterior de cor mais escura e o interior a própria orla de contusão (Leoncini, 1922).

A deposição da poeira carbonácea próximo à lesão altera a cor da pele, dando os aspectos enegrecidos ou acinzentados, mais concentrado quanto mais próximo da lesão está. Diferente da tatuagem, é removível com uma simples lavagem por se depositar apenas por cima da epiderme. A tatuagem também pode ser removível se os grânulos se depositarem apenas na camada superficial da pele (Leoncini, 1922).

Os efeitos nas roupas das vítimas se alteram conforme a composição das mesmas. As fibras naturais têm reação semelhante a pele, já as sintéticas se comburem de forma mais significativa, formando por vezes, um tipo de pérola. A pele abaixo destas roupas sofrerá danos menores porque elas servirão de um tipo de proteção (Alves, 2023). Tais efeitos são uma combinação de pólvora, projétil e ar, que são rapidamente dilatados e aquecidos pós saída do cano da arma (Santos; Issa, 2023d).

2.4.3.3 *Tiro distante*

Quando não há vestígios que mostrem que o tiro seja de encosto ou de curta distância conclui-se que entre atirador e alvo havia mais de 1,5 m. É o mais simples de ser apontado porque na lesão observa-se apenas os efeitos primários, orla de enxugo, orla de contusão e aréola equimótica (Alves, 2023). A associação dos efeitos primários gera o anel de Fisch (Santos; Issa, 2023d).

O ferimento tende a ser menor quanto mais distante o atirador esteja do alvo, diante do uso da mesma arma e mesmo lote de munição. De formato circular se atingido de forma perpendicular e em meia lua quando o choque é em outro ângulo a pele “abraça” o projétil, contraindo-se assim que passam a cavidade temporária se torna permanente, devido a adaptação do tecido, mesmo que mortificado, fruto da elasticidade do mesmo (Santos; Issa, 2023d).

2.5 Materiais simuladores de danos teciduais

Para que sejam conclusivos e aplicáveis os experimentos de materiais simuladores de tecidos é necessário que haja equivalência ao tecido animal vivo. Alguns destes materiais conhecidamente não comparáveis são: compostos de vedação de duto, argila, sabão, gelatina balística em proporções errôneas, jornal ou lista telefônica molhados (Fackler, 2001a; Fackler, 2001b).

Já o uso de materiais adequados é uma excelente alternativa ao uso de animais vivos. O uso de sintéticos ou artificiais visam simular as características das estruturas dos seres vivos tais como elasticidade e resistência. Os simuladores devem se adequar a estes quesitos para serem considerados compatíveis (Humphrey, 2016; Santos; Issa, 2023e).

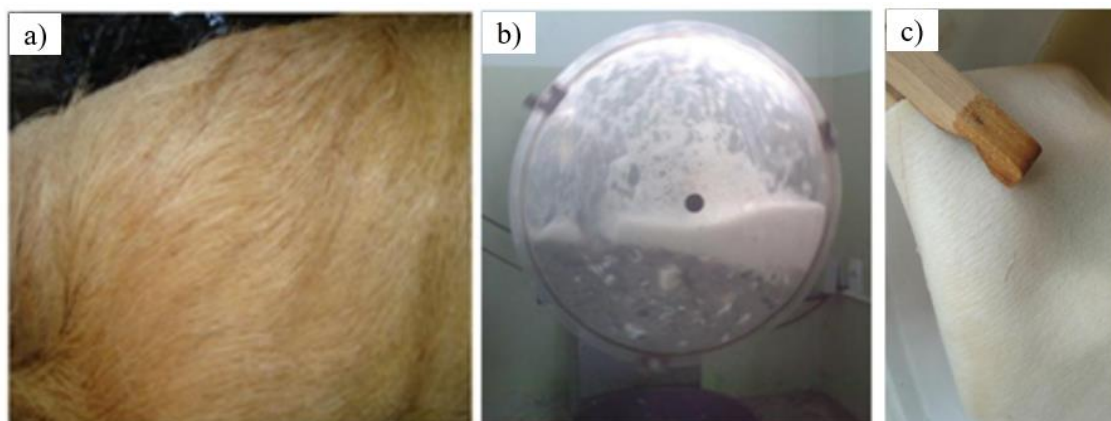
Os experimentos simulados de tecidos animais são adequados quando há correspondência entre eles Janzon e Seeman (1985), Janzon, Schantz e Seeman (1988), Fackler, 2001a, Fackler, 2001b. Nicholas e Welsh (2004), Komenda *et al.* (2013), Humphrey (2016), Rodrigues *et al.* (2018), Henwood, Oost e Fairgrieve (2019) e Varlet, Forbes, Grabherr (2020) são alguns estudos que elencam peças de porco como alternativas válidas em ensaios propostos.

Santos (2018) descreve em seu trabalho sobre as semelhanças e vantagens do uso de pele suína como análoga à pele humana. Dentre as vantagens apontadas estão: a facilidade de acesso, a forma de aquisição ética (é um produto já comercializado para consumo), espessura, composição lipídica, permeabilidade, propriedades bioquímicas e histológicas.

Outra semelhança entre espécies é a estrutura folicular de ambos, que tem pelos e infundíbulo, estando estes em camadas profundas da derme. Há uma diferença discreta no número de pelos por mm² de pele, sendo uma média de 20 para os porcos e entre 14 e 32 em humanos (exceto região da testa) (Santos, 2018).

De Sousa e De Oliveira (2014) afirmam em seu artigo que a pele suína tem composição semelhante à pele humana em 78%. Em tal trabalho as autoras realizaram uma técnica de purificação da pele suína, deixando-a mais uniforme como ilustrado na Figura 29. Tal procedimento pode colaborar na transformação de peles suínas em matrizes humanas, aplicável para serviços de saúde.

Figura 29 - Etapas de purificação de pele suína para obtenção de matriz limpa



Fonte: Adaptado de De Sousa e De Oliveira (2014).

Os folículos pilosos apesar de se assemelharem aos dos humanos podem permanecer intactos mesmo após o processo de extração realizado dentro da indústria alimentícia. Este fenômeno pode justificar-se na presença da cartilagem na região observada - orelha (Da Silva *et al.*, 2024).

Os efeitos lesivos de projéteis de arma de fogo provocam dano nos tecidos em aspectos macro e microscópicos. Sendo assim, pode se perceber que o uso de músculos de porcos produz resultado semelhante ao observado em corpos humanos no que tange apenas a estrutura muscular (Breeze *et al.*, 2014; Jennings *et al.*, 2018; Nishshanka; Paranirubasingam; Shepherd, 2020; Rodrigues *et al.*, 2018).

No estudo de Giorgetti (2020) foram analisadas as diferenças e semelhanças entre as lesões produzidas em gelatina balística associada à pele de porco. A arma do experimento foi uma besta modelo Jaguar II, que é classificada como uma arma de pressão. As flexas quando penetram no alvo orgânico são revestidas por um colar de abrasão devido ao atrito que é característico das lesões de entrada. Tais lesões podem ser confundidas com as produzidas por armas de fogo ou armas brancas devendo ser analisadas por equipe multidisciplinar. A depender da composição da haste da flexa pode ser transferido para a ferida elementos tais como o carbono.

Os autores Nicholas e Welsh (2004), Janzon e Seeman (1985), Janzon, Schantz e Seeman (1988), Fackler *et al.* (1984a) e Facker *et al.* (1984b) recomendam que se use o pernil traseiro de um animal que tenha entre 50 e 70 quilos, 20 a 30 quilos ou 15 a 102 quilos. Tais variações se devem aos diferentes objetivos nos diversos estudos. Mesmo

diante da divergência, os estudos foram uníssonos com relação à presença de efeitos primários e secundários de tiros nas amostras analisadas.

Nishshanka, Paranirubasingam e Shepherd (2020) realizaram um experimento que revelou diferença nas lesões produzidas por diferentes ângulos de incidência. Não observaram a orla de escoriação comum relatada pela literatura, que consideram poder ter relação com o calibre adotado no estudo, a lesão de aspecto alongado pode ter relação com a variação do ângulo também. Os resíduos de tiro se mantiveram em todas as lesões, independente do ângulo que as amostras suínas foram alvejadas.

Mesmo que adequado metodologicamente o uso de pele de porco se mostra dispendioso e, portanto, é necessário a comparação de outros suportes de mais baixo custo tais como a cartolina ou o papel filtro. Por isso, conforme Ferro *et al.* (2020) e Choji *et al.* (2021) foram realizados também testes em cartolina para que possamos comparar os achados na busca por um suporte que simule bem o aspecto dos efeitos de tiro e tenha o custo mais baixo.

2.6 Resíduo de disparo de arma de fogo

O resíduo de arma de fogo é uma mistura de compostos que resultam dos processos advindos da explosão causada pela explosão da munição. Categorizado principalmente como GSR inorgânico (IGSR) e GSR orgânico (OGSR). É a mistura de inorgânicos e orgânicos produtos da combustão, e é composta pelo primer, propelente queimado, propelente não queimado, dos metais do projétil, graxa, lubrificantes e metais dos produtos de combustão no cano da arma, incluso fumaça (Mendes; Da Veiga, 2023).

O mecanismo de ignição das armas de fogo produz resíduos de tiro que são divididos em duas categorias: GSR característicos (apresentam na mesma partícula Antimônio, Bário e Chumbo) e GSR consistentes (combinação de Bário, Cálcio, Silício com traços de Enxofre; Antimônio e Bário com traços de Enxofre e Ferro; Ferro e Antimônio; Bário e Alumínio; Chumbo e Bário; Chumbo; Antimônio; e Bário na ausência de Enxofre), variando com seus arranjos (Martiny *et al.*, 2008).

No evento de tiro, além dos compostos do propelente em si, vaporizam os elementos do *primer* que varia de acordo com o fabricante. Este material é expelido pelo cano da arma e pelos demais orifícios, permitindo assim a deposição de GSR em outras

partes além da mão dos atiradores. Esta “nuvem de deposição” pode ser registrada com técnicas específicas de fotografia (Frank, 2016).

A vaporização dos compostos por conta da alta pressão e temperatura que se antecede ao rápido resfriamento gera os IGSR, por conta da queima. Os IGSR são compostos por nitratos, nitritos e partículas metálicas. Os OGSR surgem da combinação de propelentes, lubrificantes e subprodutos de hidrocarbonetos. Os GSR se ligam aos anteparos que são próximos ao tiro, sejam no atirador ou na vítima. Diferente dos IGSR, não existe padronização analítica generalizada de OGSR, tendo o grande número de tipos de arma de fogo e munições como agravante para esta lacuna (Mendes; Da Veiga, 2023).

A identificação de GSR pode ser feita por diversos métodos, conforme traz a literatura (Almirall, 2015; Arouca, 2016; Gallidabino *et al.*, 2014; Laza *et al.*, 2007; Lucena, 2012; Reis *et al.*, 2004; Rendle, 2005; Taudte, 2014; Tarifa; Taudte, 2015; Uli, 2011; Zeichner, 2003). Tais como: exame microscópico, espectroscopia de Raio X, análise de espectroscopia de massa, testes químicos e até análise de *DeoxyriboNucleic Acid* - DNA (Carvalho, 2015; Haag; Haag, 2020b; Peixoto, 2020).

Frank (2016) relata que os principais GSR encontrados em munições convencionais são Chumbo, Antimônio e Bário. Tais partículas são formadas após o rápido resfriamento posterior à altas temperaturas decorrentes da explosão promovida pelo disparo da arma de fogo e apresentam-se condensadas devido à ação da temperatura e da pressão.

Já as munições atóxicas testadas por Frank (2016) têm em sua composição Alumínio, Silício, Potássio e Cálcio. Estes minerais estão associados em outras situações que não sejam eventos de tiro. A presença de microesferulitos de chumbo detectados por MEV permitem concluir que tais elementos confirmam a realização de disparos com armas de fogo. O chumbo não é proveniente da munição e sim um contaminante de uso anterior de munições convencionais.

Romanò *et al.* (2020) compararam as partículas residuais de GSR de três marcas comerciais de munição NTA colhendo das mãos de atiradores e do interior dos cartuchos com esfregaços de algodão. Os resultados apontaram diferenças significativas na morfologia e composição das partículas de cada tipo de munição e presença de resíduos mesmo 6 horas após os disparos sem lavagem das mãos. A presença de GSR foi considerada como resíduo de uso das armas com munições convencionais mesmo após o procedimento de limpeza.

Donghi *et al.* (2019) realizaram análises de resíduos de cartuchos 9x19 mm com pistolas *Beretta* que observaram que o primer FIOCCHI-RIS, componente da munição testada produziram os seguintes elementos: SmKSiTiCaAl (Samário, Potássio, Silício, Titânio, Cálcio e Alumínio) como GSR, diferente de outros como GdTiZn (Gadolínio, Titânio e Zinco) e GaCuSn (Gálio, Cobre e Estanho). Na mesma distância foram observados padrões semelhantes de depósito de cobre, dando a possibilidade de estabelecer distância de tiro através deste elemento.

Gassner *et al.* (2019) investigaram a transferência secundária de GSR orgânicos (OGSR) em três cenários: deslocamento da arma, cumprimento de mão e simulação de prisão. A transferência é maior quando há mais contato, sendo assim, os maiores índices foram encontrados na simulação de prisão, seguido pelo cumprimento e, por último, o deslocamento de arma. Quando se comparou com achados teóricos concluíram que a quantidade de resíduos varia conforme o cenário e condições do experimento. Isso destaca a importância de se considerar a transferência em exames residuográficos.

No estudo de Anders *et al.* (2020) foi investigado a presença de GSR em superfícies do Departamento de Polícia de Scranton, revelando que a maioria das regiões analisadas continham partículas associadas a iniciadores. Tiveram conclusões diferentes de estudos anteriores (Ali *et al.*, 2016; Berk *et al.*, 2007; Charles; Geusens, 2012; French; Morgan; Davy, 2014; Garofano *et al.*, 1999; Gialamas; Rhodes; Sugarman, 1995) com variações em diferentes locais.

Foi encontrado maior concentração de GSR em itens mais próximos das armas dos policiais. Concluíram pela transferência secundária de locais diversos como interruptores. É necessária uma pesquisa mais profunda sobre a permanência e transferência de GSR em diferentes superfícies para orientar sobre manipulação de suspeitos e higienização das delegacias (Anders *et al.*, 2020).

O método mais relevante de detecção de resíduos IGSR é a microscopia eletrônica de varredura/espectrometria por dispersão em energia (MEV/EDS). Seu favoritismo dentre os outros métodos se deve a sua especificidade, pelas informações morfológicas e elementares que fornece. É um método definitivo com validade internacional que individualiza as partículas e isso é mostrado graficamente a partir da formação de imagens das amostras através do feixe de elétrons do MEV/EDS (Mendes; Da Veiga, 2023).

O uso de MEV/EDS para a caracterização morfológica dos IGSR mostra a probabilidade de os elementos analisados corresponderem aos produzidos em disparo de

arma de fogo. A especificidade da combinação de tais elementos de GSR reduz a probabilidade de um falso positivo pois não são comumente encontradas em outras situações que não estejam relacionadas às armas de fogo (Mendes; Da Veiga, 2023).

Além dos três elementos segregativos chumbo, antimônio e bário podem estar associados tais como alumínio, estanho, cálcio, silício e/ou enxofre. A variação de tais elementos dependerá da composição química dos *primers* e propelentes. Há que se destacar também que há munições sem chumbo que terão além dos outros elementos supracitados, titânio, zinco, potássio, cloro, cobre, bário, antimônio ou estrôncio. Nestas condições a obtenção e análise do IGSR pode ser mais complexa (Mendes; Da Veiga, 2023).

A composição dos *primers* vão variar conforme o fabricante, porém, a maioria das munições convencionais vão seguir o padrão Sinoxid (Nome comercial de munição com mistura iniciadora não corrosiva). Há alguns elementos que podem ser encontrados como iniciadores como o estifinato de chumbo, o tetrazeno, o nitrato de bário e o sulfeto de amônio. Tais elementos formam o GSR convencional (Silva, 2022).

Já Frank (2016) afirma que os iniciadores mais comuns são dinitrodihidroxidiazobenzeno (diazinato) e dinitrobenzofuroxano. Outros grupos químicos apontados são diazos, triazos, tetrazol, percloratos, nitratos e hidrazina. Os elementos mais comuns em munições que reagem com o oxigênio são óxido de zinco, nitrato de potássio, nitrato de estrôncio e peróxido de zinco. O propelente pode conter ainda boro amorfo, metais pulverizados tais como alumínio, zinco, titânio, níquel e zinco. Além de sulfetos de antimônio, de bismuto, de ferro e de zinco.

Frank (2016) ainda descreve que, para uma mesma munição, quando se varia o tamanho do cano e a eficácia do propelente resultam numa menor zona de esfumaçamento. Conforme se altera a distância entre o cano e o alvo, também se altera o diâmetro das zonas formadas. Os tiros com distância de até 10 cm têm uma maior concentração de pequenas partículas, já a partir dessa distância a presença é menor pois as pequenas partículas não conseguem percorrer maiores espaços.

Fischer *et al.* (2023) investigaram o efeito da posição e da secagem em tecidos com presença de GSR após serem atingidos por projéteis expelidos por uma pistola semiautomática *Parabellum* 9x19 mm a uma distância de 40 cm entre boca da arma e alvo. Os tecidos foram umedecidos e secos horizontal ou verticalmente. Observaram a perda de 5 a 9% dos vestígios de GSR não havendo diferenças significativas entre o modo

ou o tempo de secagem. Não houve movimentação das partículas nos tecidos. Concluíram que o processo de secagem é eficiente, mas são necessários mais estudos sobre tipos de tecidos e processo de umedecimento.

O uso de análises de resíduos além de evidenciar a participação de alguém em evento de tiro pode mostrar a possibilidade da não participação. Por exemplo, Shaw (2019) relata um caso que utilizaram a teoria de Bayes também conhecida como teoria da probabilidade. No caso analisado a composição química do GSR da jaqueta e das munições utilizados eram diferentes, não podendo ser consideradas relacionadas por conta deste exame. A teoria da probabilidade poderia trazer o pressuposto que os resíduos poderiam ser fruto de transferência secundária. Concluíram que o uso da evidência de possível transferência pudesse ser utilizada em juízo poderia alterar os rumos do julgamento, não condenando o acusado neste caso.

Jain e Yadav (2021) revisaram estudos que abordavam a quimiometria. Perceberam que a integração da espectroscopia vibracional com métodos quimiométricos é essencial para avanços na análise forense. Métodos como *Principal Component Analysis* – Análise de Componente principal – (PCA) são comuns para análise não supervisionada, enquanto *Partial Least Squares – Discriminant Analysis* – Mínimos quadrados parciais - Análises Discriminantes – (PLS-DA), *Linear Discriminant Analysis* – Análise Discriminante Linear – (LDA) e *Support Vector Machine – Discriminant Analysis* – Máquina de Vetores de Suporte – (SVM-DA) são populares para classificação supervisionada.

O efeito do substrato é uma preocupação significativa, e estratégias quimiométricas como *Multivariate Curve Resolution with Alternating Least Squares* – Resolução de curva multivariada com mínimos quadrados alternados – (MCR-ALS) e pré-processamento são usadas para minimizá-lo. A conclusão é que a aprimoração dos exames forenses envolve a combinação de espectroscopia vibracional e ferramentas quimiométricas para criar modelos mais eficientes e confiáveis (Jain; Yadav, 2021).

2.6.1 Preparação e amostragem de resíduos de disparo

Como observou Pircher *et al.* (2019) a presença de sangue e outros fluidos podem comprometer os achados com relação aos resíduos de arma de fogo. Apesar do método

de rodizonato de sódio ser um método não recomendado (Goiás, 2020; Júnior *et al*, 2013), os autores conseguiram realizar a coleta de resultados positivos em tecidos que não estavam embebidos em sangue. Foram utilizados algodão, jeans e poliéster, o primeiro de cada, sem tratamento, os demais embebidos com diferentes volumes de sangue de porco (20, 40 e 60 $\mu\text{L}/\text{cm}^2$) em duas situações: imediato ao tiro e após 3 h de secagem, totalizando sete amostras. Foram coletados os GSR com papel filtro. O método se mostrou adequado neste estudo.

Sarapura *et al.* (2019) descrevem a preparação da amostra com ácido cítrico a 5% nas costas da mão do atirador. A técnica espectrometria por reflexão total foi aplicada resultando na identificação de chumbo, bário e cobre como analitos principais, encontrando também potássio, ferro, cobre e zinco. As análises de antimônio foram prejudicadas pela presença de cálcio nas mãos dos atiradores. Todos estes dados foram utilizados para realizar um aprendizado de máquina que será utilizado em estudos futuros.

Jaluddin *et al.* (2021) desenvolveram nova metodologia denominada Teste Rápido de Griess para detectar GSR. Substituíram o alfa-naftol por 3-aminofenol em uma solução de ácido sulfanílico e preparam soluções padrão com diferentes concentrações de nitrito para testar a reatividade do teste. O teste foi capaz de detectar GSR de forma rápida e sensível sendo incentivado como método de triagem de atiradores em locais de crime. No entanto, a amostra deve ser colhida logo que se realizar o evento de tiro.

2.6.2 *Análise dos resíduos de disparo*

A reconstrução de eventos que envolvem armas de fogo tem como um de seus contribuintes basilares a análise que indica a ausência ou presença de GSR. Os achados amparam conclusões forenses tais como estimativas de distância, marcas de ricochete e/ou orifícios causados pelos projéteis, principalmente, o fato de ter ocorrido ou não um evento que envolva o uso de arma de fogo e seu disparo (Mendes; Da Veiga, 2023).

A identificação de resíduos de tiros é uma prática comum na balística forense para determinar o atirador. Esses resíduos podem ser encontrados em anteparos, vestes ou partes expostas do corpo. A quantidade de resíduos varia entre armas, sendo maior em revólveres do que em pistolas. A detecção está relacionada à classificação das armas de fogo e à posição da janela de ejeção (Vanini, 2014).

A espoleta é composta principalmente por estifinato de chumbo, nitrato de bário, trissulfeto de antimônio e 2,4,6-trinitrotolueno (TNT). Na produção dos gases advindos da combustão da munição se encontram estes elementos. Devido às altas temperaturas os elementos chumbo, bário e antimônio, também pólvora, parte fundidos ou não, depõem nas superfícies próximas, como mão, rosto e roupas do atirador, e na vítima (Frank, 2016; Vanini, 2014).

O resíduo de tiro (GSR) típico consiste em partículas esféricas pouco cristalinas, com diâmetros entre 0,5 e 10 μm , contendo os elementos Ba, Sb e Pb. Há que se salientar a tendência científica de diferenciar as partículas semelhantes a GSR provenientes de fontes não relacionadas a tiros. Munições sem Ba, Pb e Sb na mistura iniciadora tem sido empecilhos na identificação de resíduos de disparo principalmente quando não há a adição de marcadores forenses pelos fabricantes (Frank, 2016; Heard, 2008).

Diversos estudos como Frank (2016), Hogg (2013), Pircher *et al.* (2019), Stoney e Stoney (2015), Vanini (2014) abordam novas técnicas para identificação de resíduos de tiros na Balística Forense, onde os elementos Chumbo (Pb), Bário (Ba) e Antimônio (Sb) são marcadores químicos principais. A microscopia eletrônica de varredura com detector de energia de dispersão de Raios-X (MEV/EDS) é uma técnica confiável para determinar se um indivíduo disparou ou esteve próximo a um disparo de arma de fogo. Porém, o MEV exige longo tempo de análise, tem alto custo de instalação e manutenção, sendo disponível apenas em alguns laboratórios no Brasil.

Os estudos sobre resíduos de arma de fogo produzidos por pistolas são menos frequentes que as pesquisas com revólver. Sendo assim, estudos com relação aos resíduos de arma de fogo em testes com pistolas são basilares para a investigação de crimes que envolvem este tipo de instrumento. As diferenças anatômicas entre revólveres e pistolas também interferem em como os resíduos se dissiparão (Vanini, 2014).

Os fenômenos associados ao disparo da munição são complexos, e além dos resíduos gerados pela combustão da mistura iniciadora, contribuem para a formação de partículas de resíduos, a vaporização do chumbo da base do projétil e a fuligem proveniente da queima do propelente (Frank, 2016).

Podem ficar nas partes internas da arma parte dos resíduos produzidos pela combustão da munição enquanto uma fração se fixa no projétil propelido e nas lesões das vítimas. A velocidade do projétil também interfere na concentração dos GSR, quanto maior a velocidade menor é a deposição do material por conta da maior pressão produzida

que desloca dos resíduos. Os resíduos diminuem ao longo do tempo, são sensíveis à lavagem ou qualquer processo químico que envolva estas superfícies (Frank, 2016).

Cohle e Crump (2022) observaram em um caso específico a deposição atípica de fuligem de uma arma Smith & Wesson modelo M&P9 Shield e calibre 9x19 mm. Os testes simularam a região atingida pela vítima utilizando materiais específicos e concluíram que a modificação na arma utilizada pode ter causado esta anormalidade citada, conforme citam outros autores que encontraram vestígios atípicos em armas modificadas.

Harshey, Das e Srivastava (2020) apontam que as estruturas orgânicas de metal lantanídeo luminescente (Ln-MOFs) como marcadores na detecção visual de luminescência contribuem para a análise de munições selecionadas e convencionais. Se mostram eficientes para a análise de GSR o que é de suma importância para a afirmação de incidência de tiros. Possuem estabilidade térmica além de características que o individualizam.

Serol *et al.* (2023) realizaram uma revisão das metodologias utilizadas para a identificação da composição do iniciador e da pólvora. Concluíram que MEV/EDS é o método mais comumente utilizado para a análise de GSR e que a popularização das NTAs com as alterações de legislações ambientais exige cada vez mais das metodologias de identificação de GSR baseadas em espectroscopia e cromatografia.

Werner *et al.* (2020) compararam três métodos (papel filtro, adesivo fotográfico e adesivo com camada de álcool polivinílico) de coleta de resíduo de disparo em mãos secas e úmidas após disparos de armas de fogo com pistolas semiautomáticas utilizando o rodizonato de sódio. Os dados foram digitalizados e foi analisado de modo automático o número de pontos coloridos observados. Para mãos secas observaram uma grande variação entre as mãos dominante e não dominante. Já para as mãos úmidas o método se mostrou menos eficaz. Todos os métodos apresentaram muitos falso positivos, exigindo atenção nas interpretações o que é compatível com os testes colorimétricos.

Hallett *et al.* (2020) analisaram os resíduos produzidos por disparos de espingardas através de microscopia eletrônica de varredura (*Scanning Electron Microscopy*) e espectroscopia dispersiva - SEM/EDS. Foram coletados resíduos do interior do cano da arma e da culatra das espingardas. Os atiradores utilizaram luvas para evitar a contaminação. Observaram diferenças entre os resíduos do interior do cano e a culatra, atribuído à presença de elementos da base do cartucho. A concentração maior de

ferro nas amostras da culatra foi associada ao desgaste do pino percussor já que não foram encontrados no cano da arma e não eram dos cartuchos.

Lux *et al.* (2020) analisaram a aplicabilidade do uso de adesivo com camada de álcool polivinílico testando o intervalo de 6 a 8 minutos ao invés do padrão 15 a 20 minutos. Utilizaram também a simulação de sangue úmido e seco. Além de analisarem amostras de quatro casos de suicídio e uma tentativa utilizando armas de fogo. O método se provou aplicável mesmo em amostras cobertas por sangue tendo como desvantagem apenas a necessidade de treinamento e o tempo de aplicação da técnica.

Barrera *et al.* (2019) avaliaram a visibilidade de GSR em diferentes tecidos escuros após disparo a 20 cm de distância com ângulo de 90° utilizando pistola .44 Magnum e armazenados por três dias. Foram utilizados três tipos de luzes também, a convencional, a infravermelha e a fluorescente. Concluíram que a combinação entre iluminação a 440 nm e um filtro laranja permite a visualização da zona externa de fuligem de pólvora (partículas brilhantes e fluorescentes), enquanto a fotografia infravermelha possibilita a visibilidade da zona interna de fuligem de pólvora (partículas escuras).

Gentile *et al.* (2020) analisaram a detecção de GSR com teste colorimétrico em ossadas humanas com descalcificação. Foram comparadas vítimas de armas de fogo com vítimas de morte natural como grupo controle. Observaram que a detecção por SEM/EDS em tecidos moles foi positiva, mas nos ossos sofreu interferência da descalcificação, não sendo possível identificar. Concluíram que tal técnica não é adequada para a detecção de GSR em ossadas descalcificadas.

Merli *et al.* (2019) analisaram a presença de GSR em pele de porco e costela bovina utilizando uma pistola semiautomática 9x19 mm. O método de coleta considerado mais eficaz foi o suabe umedecido com ácido nítrico a 10%. As coletas foram mais relevantes em até 3 cm da área da lesão. Os vestígios diminuíram de forma significativa em distâncias maiores que 60 cm.

A concentração de materiais além da pele, se destacavam nos pelos dos animais, inferindo que é necessário a análise destas partes também quando se referir a lesões em humanos. Foi possível a determinação de distâncias entre alvo e atirador através de cálculo semi-logarítmico da distância em comparação com o logaritmo da quantidade de elementos depositados (Merli *et al.*, 2019).

Blakey *et al.* (2019) avaliaram a presença de GSR transferido em veículos de atiradores esportivos. Os locais de coleta foram escolhidos como mais prováveis de conter

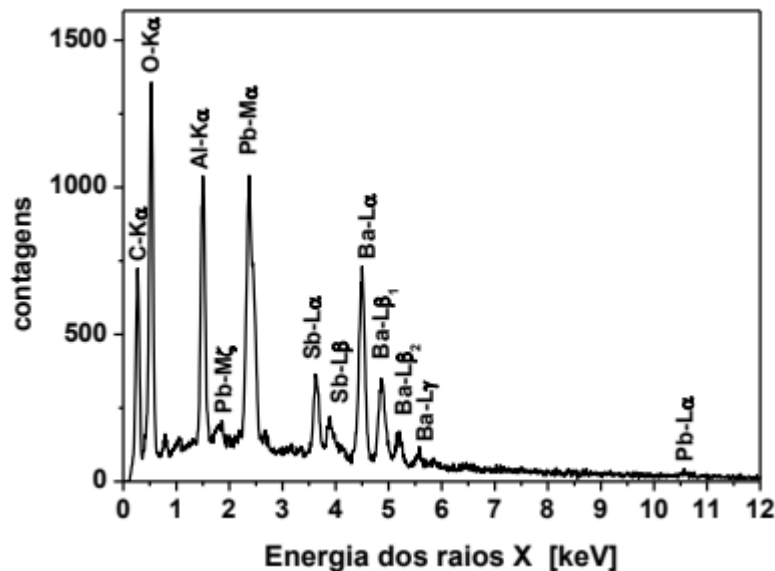
os vestígios. Mesmo que os atiradores não tivessem efetuado tiros no dia da coleta todos os veículos analisados continham GSR, sugerindo persistência do material mesmo dias após os disparos. Os locais que mais mostraram concentração de GSR foram bancos traseiros e porta-malas, assume-se que por contato direto com as armas de fogo. Destaca-se o papel da transferência e a necessidade de os casos serem analisados individualmente.

Aliste *et al.*, (2020) buscaram a otimização do método *Scanning Laser Ablation and Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry* – Ablação a Laser por Varredura e Espectrometria de Massa por Plasma Indutivamente Acoplado – (SLA-ICP-MS) para a análise de GSR. Mostraram que os resultados das coletas feitas com fita adesiva e suabe foram divergentes e que havia presença de GSR nas narinas de não atiradores que tiveram contato com o ambiente de tiro. Se provou eficiente na coleta de GSR em narinas de pessoas que tiveram contato com eles com o uso de suabes podendo ser adotado como exame complementar.

Benzaquen *et al.* (2020) analisaram o desempenho do algoritmo desenvolvido para examinar convergências de resultados de SLA-ICP-MS. O modelo matemático utilizou de dados reais colhidos de laboratórios forenses. As janelas de detecções maiores permitiram uma melhor detecção de GSR principalmente as menores e mais leves que tendem a aderir mais às mãos e tem maior chance de serem detectadas um tempo maior após o evento de tiro. O estudo encontrou partículas em mãos de não atiradores, mas em concentração ínfima. Os autores afirmam que o modelo precisa ser refinado implementando outras variáveis e uso de dados de outros laboratórios.

A técnica de busca automatizada de partículas de resíduos de tiro (GSR) utilizando o MEV/EDS, como ilustra a Figura 30, realizada por diferentes softwares especializados, quando produzem a identificação de 90% das partículas contendo chumbo, antimônio e/ou bário, permitem a acreditação de laboratórios de criminalística. No entanto, com munições específicas que não tem metais pesados, esta determinação necessita de protocolos específicos que encontram barreiras na proteção de propriedade industrial devido à imprecisão dos seus componentes (Frank, 2016; Heard, 2008).

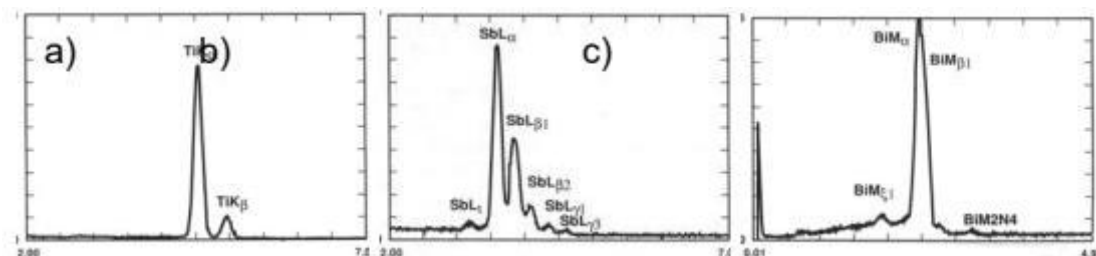
Figura 30 - Espectro de GSR mostrando exemplos de linhas K (de elementos leves), linhas L (de elementos intermediários como antimônio, bário e chumbo) e linhas M (de elementos pesados como chumbo).



Fonte: Frank (2016).

O uso de EDS na identificação de diferentes elementos é muito utilizado, combinado com os raios X através da Lei de Moselev, realizando a determinação relacionando ao número destes. Para cada elemento, os raios X característicos são agrupados em “família de linha K” (K α e K β), de linhas L (L α , L β_1 e L β_2 , etc, que ocorrem em elementos de número atômico maior) e de linhas M (grupo complexo de linhas que ocorre apenas em elementos muito pesados, M α em geral é a única discriminada com EDS) (Frank, 2016). Tais famílias são esboçadas na Figura 31.

Figura 31 - Morfologia dos grupos de raio X característicos



Fonte: Frank (2016).

É essencial conduzir pesquisas detalhadas para compreender a natureza específica dos resíduos de tiro, que variam de acordo com o tipo de espoleta, propelente e cartucho.

Como a composição dos elementos de munição são, muitas vezes protegidas por propriedade industrial, é fundamental que os laboratórios forenses realizem trocas sobre os padrões de resíduos de tiro das munições mais comuns em suas regiões. Compartilhar, entre os institutos forenses, as informações de elementos encontrados, permite identificar tais elementos assim como a origem da munição (Frank, 2016; Wallace, 2008).

A combinação de bário, antimônio e chumbo é uma boa identificação de resíduos de arma de fogo pois não ocorre em outras situações em formatos circulares como são observados. Associado a isto, a presença destes equipamentos em vários institutos periciais ou instituições de ensino permite que este exame seja realizado com mais facilidade (Frank, 2016).

É necessário que seja avaliado todo o produto de coleta já que fogos de artifício e munições cênicas que tem misturas iniciadoras podem produzir resíduos semelhantes ao GSR. A diferenciação se dá pela análise da morfologia, composição química e associação de elementos típicos de GSR. A existência concomitante de chumbo, antimônio e bário identificam uma partícula particular de resíduo de disparo de arma de fogo (Frank, 2016).

Pode ser observada ainda outros elementos como alumínio, fósforo, traços de enxofre, cloro, potássio, cálcio, traços de ferro, níquel, cobre, zinco, zircônio, estanho, silício. Romolò (2002) menciona categorias de GSR como características ou unívocas e consistentes ou indicativas (Frank, 2016).

Ainda há as munições que não contém as três partículas típicas dos GSR conhecidas como Sintox (nome comercial de munição com mistura iniciadora não tóxica) ou NTA e isso dificulta a identificação de resíduos de armas de fogo, principalmente com fabricantes que não disponibilizam a composição do seu *primer*. Não há um protocolo de discriminação MEV/EDS de munições *Sintox*, o que propõe o trabalho de Frank (2016).

No estudo de Goudsmits *et al.* (2019) os autores conseguiram analisar um perfil químico completo de GSR, incluindo compostos inorgânicos e orgânicos utilizando uma combinação de técnicas de *Solid Phase Microextraction – Gas Chromatography – Mass Spectrometry* (Microextração em Fase Sólida – Cromatografia Gasosa – Espectrometria de Massa) (SPME-GC-MS) e SEM/EDS. Não observaram nenhum efeito adverso do método na detecção subsequente de partículas de GSR inorgânicas. Recomendam a aplicação em casos reais, seguindo o protocolo padrão de coleta e análise de GSR, desde que a amostra seja armazenada de forma refrigerada. Destacam que são necessários mais

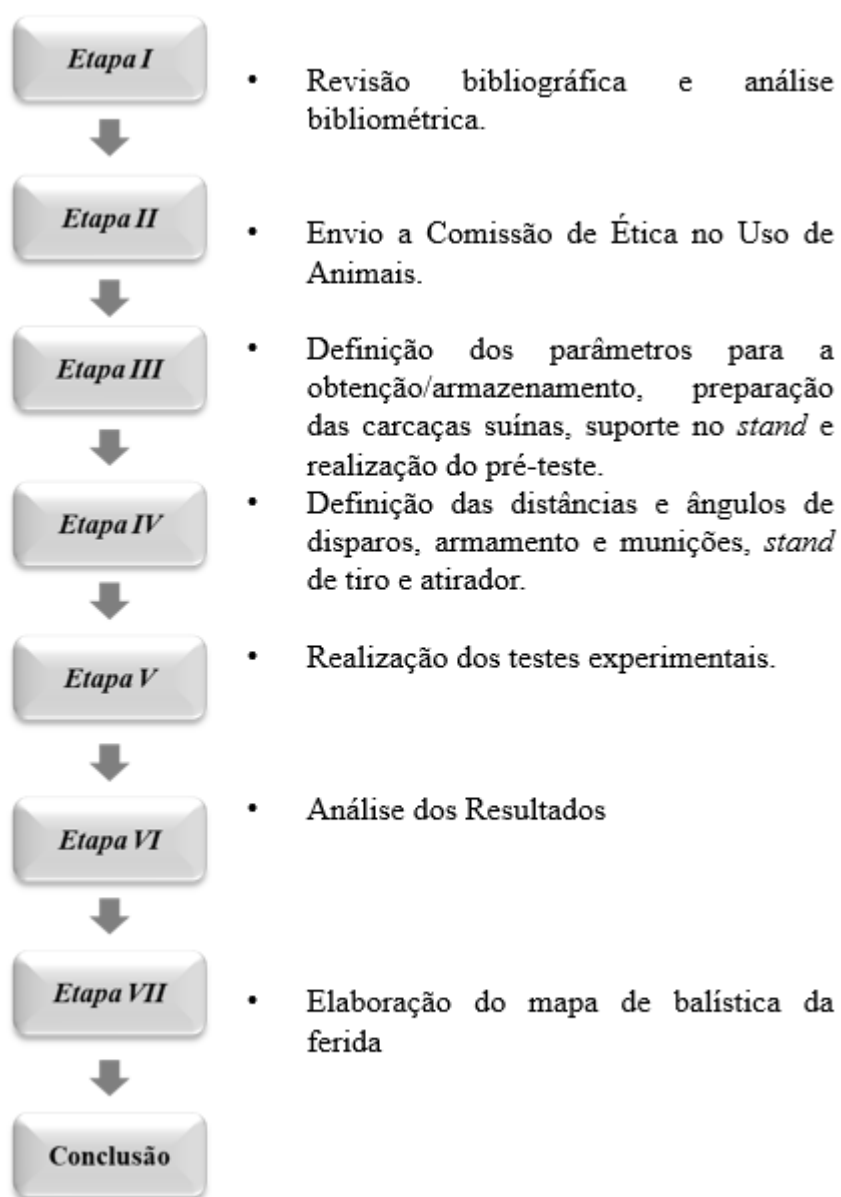
estudos para validar sua robustez e confiabilidade, especialmente em relação a diferentes tipos de munição.

Blakey *et al.* (2019) estudaram a distribuição de GSR nas roupas de atiradores esportivos. Concluíram que a maior concentração se deu nas mãos e rostos dos atiradores, como esperado. As outras regiões onde foram encontrados resíduos podem manter os GSR por mais tempo, tais como ombro e parte interna do braço do lado utilizado para efetuar o tiro. O estudo contemplou 14 locais e isso pode ser considerado uma limitação pois pode haver GSR em áreas não analisadas. Mais estudos são necessários sobre os fatores que influenciam os processos de distribuição, transferência e persistência de GSR.

3 METODOLOGIA

Neste capítulo são apresentados os materiais, equipamentos e procedimentos metodológicos utilizados para o desenvolvimento da pesquisa. A Figura 32 apresenta a estrutura organizacional adotada.

Figura 32 - Diagrama do procedimento experimental



Fonte: Elaborado pela autora.

3.1 Etapa I – Revisão bibliográfica e análise bibliométrica

Na primeira etapa do trabalho é realizado um levantamento bibliográfico afim de obter um maior embasamento teórico e verificar eventuais lacunas. Além do levantamento bibliográfico é realizada uma análise quantitativa bibliométrica utilizando o software Bibliometrix, através da definição das palavras-chave e aplicação de filtros, contribuindo desta forma, para um melhor detalhamento do contexto do trabalho em nível mundial.

A revisão bibliométrica foi realizada e em sequência uma pesquisa exploratória dos resultados obtidos (Cauchick, 2012). A bibliometria buscou contextualizar sobre o posicionamento mundial do tema e das pesquisas do ramo. Foram obtidos pela análise bibliométrica: os principais autores, países em destaque, organizações que pesquisam o tema, número de publicações por ano, dentre outras informações.

Realizou-se uma adaptação do método Prisma (Page *et al.*, 2022), na qual, as palavras chaves usadas na equação booleana ("*ballistics*" AND ("*9mm*" OR "*gunshot residue*" OR "*firearms trauma*")) estavam relacionadas a este estudo. A escolha da plataforma de busca objetivou selecionar as ferramentas que tivessem muitas revistas indexadas. Outro critério foi a existência de filtros que permitissem afinar a pesquisa, de acordo com o método PRISMA que foi utilizado. A coleta de dados para a realização da bibliometria foi realizada no dia 29 de dezembro de 2023, mediante pesquisa exploratória nas plataformas de pesquisa da *Web of Science* – WOS e Scopus.

Na ferramenta WOS, a consulta, utilizando a equação booleana nos campos "*Title*" ou "*Abstract*" ou "*Author Keywords*", retornou um total de 27 publicações. Selecionados artigos de revisão escritos apenas em inglês, restaram 26 estudos. Aplicado o recorte de 2019 a 2023 (anteriores à data de pesquisa) resultou na triagem de 09 artigos.

Utilizando a mesma equação no campo "*Search Article Title, Abstract, Keywords*" ("*ballistics*" AND ("*9mm*" OR "*gunshot residue*" OR "*firearms trauma*")) obteve-se 204 trabalhos. Utilizou-se a restrição de artigos e artigos de revisão (166 trabalhos), apenas escritos em inglês (151), delineado intervalo entre os anos 2019 a 2023, restrito a publicações anteriores à data de pesquisa, externam um total de 41 artigos.

Os dados obtidos, transformados em planilha, foram processados pelo programa RStudio ® 2023.06.1 Build 524 (R *version* 4.3.1 (2023-06-16 ucrt)). Destes, 9 artigos foram excluídos porque estavam duplicados. Estabelecida nova base de dados os dados

principais dos 59 trabalhos foram perscrutados utilizando a ferramenta *Bibliometrix* de Aria e Cuccurullo (2017).

3.2 Etapa II – Comissão de Ética no Uso de Animais (CEUA)

Após a aprovação na Comissão de Ética no Uso de Animais (CEUA), foram identificados possíveis frigoríficos para a obtenção de fragmentos da pele de papada e região mamária de suínos. Esta aprovação garante que a utilização de partes animais seja justificada e que não cause sofrimento aos animais do experimento. Como neste estudo foram utilizadas as partes de carcaça suína de origem de frigoríficos inspecionados, a CEUA emitiu um documento de dispensa (Anexo A).

A escolha de carcaça suína para fazer as observações com relação à balística de feridas se mostra adequada devido à semelhança entre a estrutura cutânea suína e humana. Tais estudos, permitem a pesquisa e uma comparação da deformação da musculatura esquelética e o uso de fragmentos animais se mostrou adequado metodologicamente e legalmente em relação ao uso de animais vivos (Lei 11.794, de 8 de outubro de 2008), diferente de como era feito até a década de 80 (Santos; Issa, 2023). Isso resolveu o problema de limitação mundial, que proíbe simular lesões em humanos vivos ou mortos (Kislov *et al.*, 2022).

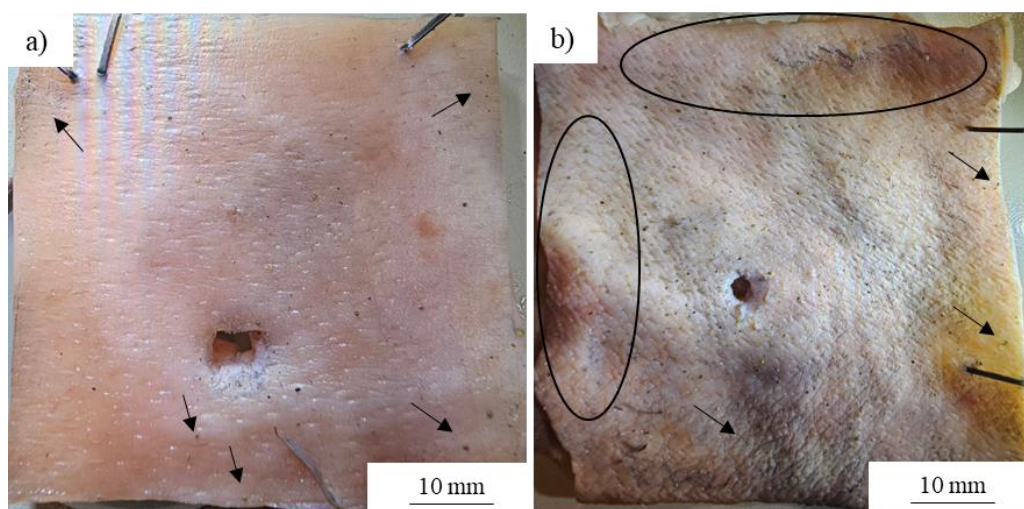
3.3 Etapa III – Levantamento de parâmetros para obtenção/armazenamento/preparação das peles suínas e suporte no estande

A realização de um pré-teste é fundamental para garantir a precisão e a confiabilidade dos resultados finais, minimizando erros e otimizando a eficiência dos testes subsequentes, principalmente em experimentos que envolvem muitas pessoas e parâmetros envolvidos.

Desta forma, realizou-se um pré-teste que auxiliou na definição dos tamanhos das peças e a parte suína que seriam utilizados. Este pré-teste teve a finalidade de definir os principais parâmetros e adequações ao aparato experimental. Os tamanhos testados foram 10x10 cm (Figura 33), 15x15 cm e 20x20 cm (Figura 34).

As regiões anatômicas utilizadas foram peles de papada e região mamária com músculo dissecado e as distâncias analisadas variaram entre encosto e 200 cm com intervalo de 10 cm nos primeiros 100 cm e 25 cm nas distâncias de 100 a 150 cm, o que resultou em 13 diferentes marcos de distância entre atirador e alvo. A variação de 10 para 25 cm de intervalo foi motivada porque a maior parte dos estudos considera 100 cm como longa distância (Haag; Haag, 2020a; Frank, 2016).

Figura 33 - Disparos realizados em peles suínas com dimensões 10cm x 10cm. a) Disparo realizado a 70 cm de distância entre atirador e alvo; b) Disparo a 30 cm de distância entre atirador e alvo.



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 34 - Disparos realizados a 30 cm de distância entre atirador e alvo em carcaça com 20cm x 20cm de dimensão.



Fonte: Elaborado pela autora.

A distância entre alvo e atirador foi aferida entre boca do cano e a peça suína com uso de um gabarito de distância de tiro que pode ser observado na Figura 35. Não se observou diferenças nos achados entre os tiros dados com a distância de 150 e 200 cm, sendo adotado como limite do experimento os 150 cm (limite considerado de tiros a curta distância por Alves (2023)).

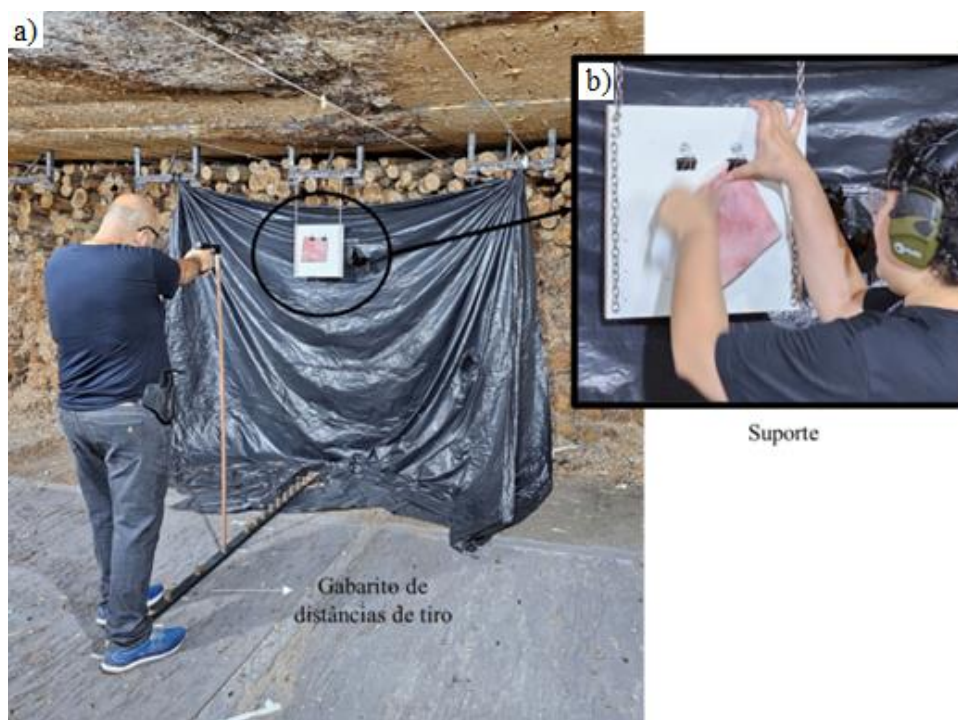
40 cm	40 cm	40 cm	40 cm	40 cm	40 cm	40 cm	40 cm
50 cm	50 cm	50 cm	50 cm	50 cm	50 cm	50 cm	50 cm
60 cm	60 cm	60 cm	60 cm	60 cm	60 cm	60 cm	60 cm
70 cm	70 cm	70 cm	70 cm	70 cm	70 cm	70 cm	70 cm
80 cm	80 cm	80 cm	80 cm	80 cm	80 cm	80 cm	80 cm
90 cm	90 cm	90 cm	90 cm	90 cm	90 cm	90 cm	90 cm
100 cm	100 cm	100 cm	100 cm	100 cm	100 cm	100 cm	100 cm
125 cm	125 cm	125 cm	125 cm	125 cm	125 cm	125 cm	125 cm
150 cm	150 cm	150 cm	150 cm	150 cm	150 cm	150 cm	150 cm

Fonte: Elaborado pela autora.

Para a realização dos testes foi necessário a adequação de uma estrutura como pode ser observado na Figura 36. Além das peças, o teste contou também com um suporte feito de uma placa de MDF de tamanho 30x30cm. Contou também com uma cortina feita de lona que cobriu um espaço de 3x3 m. Tal estrutura foi posicionada atrás da peça suína durante os testes para que servisse de filtro para as partes orgânicas que pudessem se desprender durante os tiros. Observamos que ao final do pré-teste não havia fragmentos orgânicos no local, contribuindo para a conclusão de eficiência das ferramentas utilizadas.

Uma vez que o trabalho está sendo executado em parceria com a SSPGO, bem como com a Polícia Científica e Militar do Estado de Goiás. Os insumos para os testes, armamento e munição, bem como o local para realização dos testes e atirador foram fornecidos pela Polícia Militar do estado de Goiás.

Figura 36 – Estrutura construída para os testes a) atirador em atividade; b) suporte desenvolvido que segurava as peças (pele suína ou cartolina) para a realização dos disparos



Fonte: Elaborado pela autora.

3.4 Etapa IV - Definição das distâncias e ângulos de disparos, armamento, munições, estandes de tiro e preparação do atirador

Após a definição de todos os parâmetros os testes experimentais foram realizados variando distância de disparo bem como a pistola e munição, sempre em triplicata, tal como ilustrado no Quadro 2. Também foram utilizados fragmentos de 25x17cm de cartolina para realizar a comparação dos achados entre papel e pele suína.

A escolha da região suína a ser utilizada se deu pois não foram observadas diferenças nas características das feridas ou na deposição de resíduos entre uso da barriga com pele, gordura e músculo e o uso da pele de papada e região mamária. O uso de pele também se justificou pela limitação da altura da lupa Leica EZ4, utilizada para as análises e fotografias dos resíduos. As partes foram obtidas com o açougue Samuca Carnes (CNPJ 32815440000193) com recursos próprios da pesquisadora.

Os fragmentos de pele de dimensão 15x15 cm foram armazenados em freezer a 15° C negativos, depois refrigerados entre 0 e 5° C pelo próprio açougue. Transportados até o local dos testes expostos a temperatura ambiente conforme a metodologia adotada

por Nishshanka, Paranirubasingam e Shepherd (2020). A temperatura dos fragmentos aferida durante os testes variou entre 20 e 26° C utilizando termômetro da marca ANU modelo YRK-002A.

Os fragmentos foram fixados no suporte utilizando prendedor de metal de 40 mm em suporte feito com *Medium-Density Fiberboard* (MDF) de dimensões 30x30 cm conforme já demonstrado na Etapa III, Tópico 3.3.

A realização dos disparos se deu em ambientes controlados e não controlados (fechado e aberto) em estandes localizados em Goiânia e Senador Canedo, de tamanho oficial e uso controlado apenas de pessoas com certificado de registro autorizado pelo exército. Tais espaços respeitavam as normas de segurança vigentes e aspectos legais atribuídos relacionados a produtos controlados.

O estande fechado é um ambiente controlado, com piso apropriado e anteparo de toras de madeira para reter os projéteis lançados. Já o estande aberto é em ambiente com interferência de vento e exposto a incidência solar, com piso apropriado e anteparo de pneus e areia. Os ambientes são utilizados apenas por pessoas com certificado de registro autorizado pelo exército brasileiro.

Os armamentos utilizados nos testes, são pistolas de calibre 9x19mm, as armas atualmente em uso pela Polícia Militar do Estado de Goiás (PMGO) das marcas *Sig Sauer* e *Beretta*. Tais armas são especificadas como armas de fogo curtas, de porte, de repetição, semiautomáticas, classificadas como pistolas.

A arma de fabricação *Beretta* (Figura 37-a), modelo *APX Full Size* e número de série AA105605B. Já a arma de fabricação *Sig Sauer* (Figura 37-b), modelo P320 tinha o número de série 58H004950. As munições para arma de fogo eram constituídas por projéteis tipo ogival, de 124 grains de propelente e estojos de metal dourado que possuíam em suas bases a inscrição “CBC 9mm treina”, fabricados pela CBC sob códigos de rastreabilidade FPE41 e FPE42.

A munição CBC tipo treina é também nominada como munição atóxica ou livre de Pb, Ba e Sb. Tal tipo de munição é recomendada para treinamento e não para serviço pois sua energia é menor que das munições convencionais (Santos, 2020). A munição está ilustrada na Figura 38.

Figura 37 - Armas utilizadas no experimento a) *Beretta*; b) *Sig Sauer*.



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 38 - Fotografias da munição utilizada 9 mm tipo treina a) munição deitada; b) munição em pé; c) caixa de armazenamento das munições



Fonte: Elaborado pela autora.

3.5 Etapa V - Realização dos testes experimentais

Os testes contaram com atirador habilitado com vasta experiência (Figuras 39 e 40). O atirador era capacitado e orientado sobre os procedimentos de segurança em relação a manusear a arma de fogo. Há que se salientar sobre os limites de padronização dos eventos de tiro experimentado pois, com o elemento humano dos testes assume-se uma variação inerente de experiências não robotizadas.

Como já dito, cada evento de tiro é único e o tipo, a quantidade, a distribuição e as dimensões das diversas zonas de resíduos podem permitir a determinação aproximada do atirador e do alvo em função dos chamados efeitos secundários de tiro. Sendo assim, mesmo que a simulação não exprima exatamente a situação, serve de ponto de partida para desprendimentos técnicos. Pode haver também uma variação nos achados quando o ambiente não é controlado.

Figura 39 – Fase 1 do Experimento (estande fechado) fotografia do atirador.



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 40 – Fase 2 do Experimento (estande aberto) fotografia do atirador.



Fonte: Elaborado pela autora.

Os procedimentos foram realizados conforme determinam as Diretrizes para Determinações de Distância de Resíduos de Tiro, em tradução livre - *Guidelines for Gunshot Residue Distance Determinations (National Institute of Standards and Technology, 2013)*. Este sistema foi desenvolvido pelo Grupo de Trabalho Científico para Armas de Fogo e Marcas de Ferramentas - *Scientific Working Group for Firearms and Toolmarks (SWGgun)* - do FBI com o objetivo de padronizar os procedimentos e

protocolos das ciências forenses. Para os experimentos foram seguidos uma adaptação os materiais e métodos descritos por Ferro *et al.* (2020).

Foram realizados 312 tiros feitos alterando a distância da boca do cano da pistola e os alvos, fabricantes das armas, os suportes de pele e papel e os ambientes aberto e fechado, produzindo o mesmo número de suportes, sendo 156 peles suínas e 156 cartolinas. O esquemático com as variáveis está descrito no Quadro 2. Sucederam um único tiro perpendicular de cada arma contra os anteparos (pele e cartolina).

Os tiros foram realizados perpendicularmente em distâncias variadas, (de encosto até 150cm), de modo a observar a presença dos efeitos secundários do tiro no anteparo. Todas as distâncias foram medidas a partir da porção terminal do cano (boca do cano) e documentadas com fotografia. Utilizou anteparo com papel milimetrado plastificado, facilitando assim a higienização entre as fotos, a fim de evitar contaminação entre as amostras.

Para caracterização dos testes as amostras foram preparadas conforme descrevem Nishshanka, Paranirubasingam e Shepherd (2020), na sequência foram realizadas análises macroscópicas em lupa eletrônica modelo e as imagens foram capturadas utilizando a objetiva com câmera do celular, no aplicativo padrão do Samsung Galaxy 23 ultra com ampliação de 1x.

Com objetivo de não deteriorar as amostras, após os disparos a amostra era colocada em recipientes com respectivas identificações e todas as análises macroscópicas foram realizados no local dos testes, para análise em Microscopia Eletrônica de Varredura com detector de energia dispersiva (MEV-EDS), tivemos o apoio de uma técnica do LAB-MIC em que realizou todo o procedimento de coleta também *in-loco*.

As amostras foram coletadas para o MEV/EDS nas distâncias de 0, 50, 100 e 150 cm. Foram feitas com porta amostra (*stubs*) de alumínio com fita dupla face de carbono para a fixação (Ministério da Justiça e Segurança Pública, 2024a) – que funciona como condutor de eletricidade (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA, 2016) –, com uso de luvas descartáveis, trocadas a cada coleta. As imagens das partículas de GSR foram obtidas em um MEV (Jeol JSM – 6610) do LABMIC da UFG, em alto vácuo, no modo imagem de elétrons retroespalhados (BEI, do inglês Backscattered Electron Image) com tensão de aceleração de 15.0 kv.

As análises macroscópicas permitiram a investigação das lesões produzidas, observando os efeitos primários e secundários. As fotografias das peças foram

trabalhadas para possibilitar a contagem de vestígios encontrados em ambas superfícies e as lesões nas peles foram capturadas pela lupa conforme Merli *et al.* (2019).

3.6 Etapa VI – Análise dos resultados

Para a contagem de vestígios nas peles suínas, preparou-se as imagens utilizando-se o Editor de Fotos Versão 10.8 no tablet Fire HD 8 (10ª geração). A imagem carregada era ampliada 200% no aplicativo e foram marcados todos os pontos destoantes do tom mais prevalente da pele suína. Após a marcação dos pontos de interesse a imagem foi baixada e submetida ao software ImageJ. As imagens das cartolinas também foram processadas no ImageJ, porém sem trabalho anterior, utilizando as fotografias tal como obtidas nos experimentos.

O ImageJ é um software de domínio público desenvolvido pelo National Institutes of Health. E a escolha deste software para além da sua disponibilidade baseou-se na sua capacidade de realizar contagens de pontos e cálculo de tamanho destes pontos. Os procedimentos seguiram as seguintes etapas: preparação das imagens, processos no ImageJ, tratamento das imagens com ferramentas de edição e extração e armazenamento de dados no ImageJ.

Após a preparação da imagem, conforme supradescrito, a mesma foi importada para o software ImageJ (File > Open). Com a imagem carregada, o filtro 8-bit foi aplicado o que altera a imagem para tons de cinza, para aumentar a eficácia de leitura do software. Ajustados também o brilho, contraste e balanço para evidenciar os elementos de interesse. A ferramenta Threshold destacou as áreas com maior intensidade de pixels. Após todas estas modificações as imagens foram salvas como formato Portable Network Graphic (PNG).

As imagens obtidas no ImageJ foram tratadas novamente no editor de fotos, retirando pequenas sombras, de menores dimensões, que não correspondessem ao mapeamento feito na preparação da imagem. Após a remoção as imagens foram novamente salvas no formato PNG e importadas para o ImageJ, aplicado o filtro 8-bit, ajustados brilho, contraste e balanço e destacados os pixels pela ferramenta threshold. Uma linha foi traçada horizontalmente para o cálculo de pixels e conversão em milímetros (na opção definir escala a linha traçada horizontalmente terá calculado a largura da

imagem em pixels, a distância conhecida em milímetros deve ser preenchida assim como a unidade).

A análise de partículas do menu análise com as opções exibir, resultados e resumir marcados gerou duas planilhas uma com o resumo do número de pontos e outra com os detalhes de cada um. Tais planilhas em formato Comma-separated values (CSV) para posteriores análises estatísticas.

A partir das planilhas geradas com os dados das contagens foram realizados cálculo da média das triplicadas, desvio padrão e coeficiente de variação. As fotografias ilustram os elementos de interesse que foram utilizados para a realização da contagem. Além da média, desvio padrão e coeficiente de variação, foram calculados correlação de Pearson e Anova. Foram elencados critérios de variabilidade, confiabilidade e sensibilidade.

O critério para classificar variabilidade foi a mensuração da flutuação dos valores médios entre os grupos através da análise dos desvios padrão e a amplitude dos dados. A classificação é considerada baixa quando a diferença é pequena, moderada quando a diferença é clara, mas sem extremos e alta diferenças muito grandes entre os grupos.

Já o critério para análise de confiabilidade foi a comparação da estabilidade dos vestígios e sua reprodutibilidade. Tal avaliação foi realizada com o cálculo da correlação de Pearson com presença ou não de tendências consistentes nos dados. Os extratos classificatórios foram: confiabilidade alta quando a correlação foi maior ou igual a 0,90, moderada quando estiver no intervalo entre 0,60 e 0,89 e baixa quando as correlações foram menores que 0,60 ou negativas.

Quanto a sensibilidade foi avaliada a vulnerabilidade dos substratos a variações dos ambientes e das fabricantes. Isso através das diferenças de resultados entre ambientes/fabricantes e pelo número de inversões ou oscilações nos dados médios. A sensibilidade foi considerada como baixa quando estável entre ambientes/fabricantes, moderada quando diferenças claras, mas moderadas e alta quando as oscilações são imprevisíveis e grandes variações.

Para a correlação de Pearson as interpretações do valor de r podem ter valores: zero quando não há associação entre variáveis; maior que zero correlação positiva; menor que zero correlação negativa e +1 correlação perfeitamente positiva. A força de correlação foi considerada como: correlação muito forte quando maior que 0.9, correlação forte no intervalo entre 0.7 e 0.9, correlação moderada no intervalo entre 0.5 e 0.7,

correlação fraca o intervalo entre 0.3 e 0.5 e correlação desprezível no intervalo de 0 a 0.3.

A Anova analisa variação entre os grupos, dentro dos grupos e entre essas duas variações (Fator F – índice calculado que mostra se a variações entre grupos é maior que a variação esperada ao acaso). O valor de p menor que 0,05 indica que existe diferença estatisticamente significativa entre pelo menos dois grupos, ou seja, as médias não são todas iguais. Já se o valor de p for maior ou igual 0,05 não há evidência estatística que os grupos sejam diferentes, ou seja, as diferenças podem ser naturais (acaso).

3.7 Etapa VII - Elaboração do mapa de balística da ferida e análise dos resultados

A partir das imagens obtidas pela Lupa Leica EZ4, ampliação de 5x, foram organizados por fabricante, tipo de estande e distância entre atirador e alvo. O mapa foi construído então organizando por linha as lesões produzidas na mesma distância pela pistola Beretta em estande aberto e fechado e pela pistola Sig Sauer em estande aberto e fechado. Para a escolha da imagem a ser utilizada dentro da triplicata elegeu-se a maior.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

As lesões primárias e secundárias foram identificadas, porém não corresponderam ao relatado na literatura (Alves, 2023; Barrera *et al.*, 2019; Frank, 2016; Haag e Haag, 2020a; Santos; Issa, 2023d). Para ambas as armas, a partir de 40 cm a zona de fuligem estava ausente, já a zona de tatuagem não ficou visível a partir de 70 cm na cartolina e 150 cm na pele suína. Divergiram do que relata Alves (2023) que os vestígios de pólvora seriam encontrados até em 150 cm de distância entre atirador e alvo o que a cartolina mostrou não ser regra.

Os fragmentos de pele suína foram obtidos de cortes artesanais, produzidos manualmente por açougueiros capacitados. Buscou-se uma uniformidade de tais suportes, mas, devido as várias fontes (animais diversos com diferentes pesos, sexo e composição corporal) se assumiu que haveria diferentes espessuras das peças. Tais divergências não impactam a princípio sobre as observações por não influenciarem no residuográfico e pouco influenciarem no aspecto das lesões.

Tanto Haag e Haag (2020a) quanto Alves (2023) não especificaram em seus relatos quais armas, os calibres e tipos de munições que apresentaram tais características declaradas como definição, e assumindo que isso pode variar, concordamos que há limitação do nosso experimento quanto a pistolas de calibre 9x19 mm e munições de 124 grains tipo treina (não tóxica). Outros experimentos com munições +P ou +P+ podem ter outros resultados.

Para as análises desse experimento foram considerados como limite de curta distância 70 cm, obtido através do residuograma das cartolinas. Devido ao cenário observado sobre as peles suínas e sua incompatibilidade para avaliação de residuograma não foi estabelecido o limite diante desse cenário, adotando portanto a distância observada nas cartolinas. Portanto a partir de 70 cm foram consideradas como longa distância em ambos os cenários.

As observações feitas sobre os aspectos das lesões produzidas estão detalhadas na seção 4.3. Nesta, foi construído um mapa comparativo entre os diferentes cenários de fabricantes e tipo de estande para cada distância experimentada e foram analisadas estatisticamente o tamanho das lesões. Na seção 4.3 são tratadas as variáveis sobre fixação e marcação nas superfícies. Através de análise estatística de desvio padrão e

variância das triplicatas de cada parâmetro será verificado se há diferença significativa entre eles. A análise de microscopia e análise qualitativa (MEV/EDS)

As amostras coletadas foram submetidas a análise MEV/EDS pelo LABMIC, e os resultados podem ser observadas no item 4.5 deste trabalho.

A composição das partes metálicas, principalmente o cano, tanto da pistola Beretta APX Full Size quanto da Sig Sauer P320, é de aço inoxidável. Tinham como comprimento de cano 108 mm a Beretta e 119 mm a Sig Sauer, ambas em acabamento oxidado, de seis raias destrógiras (giro a direita). Não se descarta a possibilidade da diferença de 11 mm entre os canos ter influência sobre os residuográficos mas não se pode afirmar pois não foi ponto de interesse nesse experimento.

4.1 Análise bibliométrica

A equação booleana aplicada ("ballistics" AND ("9mm" OR "gunshot residue" OR "firearms trauma")) retornou 230 trabalhos. Os filtros aplicados por etapa restringiram os trabalhos conforme objetivo. Quando removidas as duplicidades eram 41 artigos. A seletiva detalhada pode ser observada na Tabela 1. Ao excluir as duplicidades encontrou-se que todos os trabalhos Web of Science eram parte dos artigos da Scopus (Ruas; Miguel; Troysi, 2024).

Tabela 1 – Fluxo de escolha dos artigos

Critérios de busca	<i>Web of Science</i>	<i>Scopus</i>
Equação booleana	27	203
Somente artigos ou artigos de revisão	26	165
Linguagem inglesa	26	151
Intervalo de 2019 a 2023	9	41
Análise de arquivos duplicados	9	
Seleção final	41	

Fonte: Elaborada pela autora.

Os autores que mais produziram no período observado foram Birkett, Blakey, Chana, Sharples, Werder e Weyermann com três trabalhos cada. Foi diagnosticado uma colaboração entre os autores encontrados o que justifica o número semelhante de

produções. Também justifica os países e as instituições que se destacam (Ruas; Miguel; Troysi, 2024).

As palavras-chave mais frequentes na seleção dos estudos foram *ballistics* citada 27 vezes, *gunshot injury* com 22 menções, *human* com 21, *humans* com 18 referências e *forensic ballistics* com 19 exposições. Estas estavam correlacionadas, sendo citadas juntas com frequência nos artigos (Ruas; Miguel; Troysi, 2024).

Os países de destaque são sede das instituições relacionadas. E quando levantados os motivos para que as instituições se destaquem concluiu-se que possa ter a ver com a presença do autor associado ou é possível que os autores vão para tais instituições devido às linhas de pesquisa (Ruas; Miguel; Troysi, 2024).

A seleção contou ao todo com 184 autores, 189 palavras-chave e 1040 referências. No período as produções diminuíram nos últimos anos. O motivo não fora possível se estabelecer. As revistas que foram levantadas poderão servir como destino de trabalhos futuros da temática (Ruas; Miguel; Troysi, 2024).

4.2 Sobre os testes e o desenvolvimento do protocolo de simulação

Conforme descrito na metodologia na etapa V etapa de experimentação foi dividida em dois momentos: testes no campo fechado (indoor) e testes em campo aberto (outdoor). Em ambos os momentos foram realizados os disparos em 13 distâncias entre atirador e alvo conforme descreve o Quadro 2 e em triplicata para os dois modelos de pistolas 9x19 mm. Ao todo foram realizados 156 tiros em peles suínas e 156 tiros em cartolinas.

Para além de tais divisões as fabricantes e por consequência armas também eram diferentes. A literatura tem divergências quanto aos achados nas diferentes distâncias que podem ser atribuídas a diferentes armas e calibres utilizados já que poucos citam a metodologia detalhada de seus testes e afirmações (Alves, 2023; Barrera et al., 2019; Frank, 2016; Haag e Haag, 2020a; Santos; Issa, 2023d).

Os estudos de Miranda *et al.*, 2019, Schyma *et al.*, 2020 e Wongpakdee *et al.*, 2021 que descrevem em sua metodologia arma, munições e outras condições aplicadas não tiveram variáveis parecidas com este experimento, mas servem de um ponto de partida para a observação dos achados.

Os vestígios apresentados tanto nas cartolinas quanto nas peles se relacionam no aspecto macroscópico demonstrando, a princípio de que, quanto maior a distância do atirador comparado ao alvo menor é o número de vestígios e efeitos secundários observados. Tais eventos são citados pelos autores supracitados Alves (2023), Barrera *et al.* (2019), Frank (2016); Haag e Haag (2020a) e Santos e Issa (2023d). Tal premissa é adequada para suportes que a superfície seja regular, tal como a cartolina.

As peles suínas para além dos sinais de tatuagem provenientes do evento de tiro também tinham diferenças nas suas colorações, desprendimento de matéria orgânica, folículos pilosos destacados e pelos queimados. A diferença de coloração entre os grânulos de pólvora e demais vestígios era muito sutil e, em busca de diminuir a subjetividade do que seria ou não um grão de pólvora decidiu-se por considerar todas as alterações como objetos de interesse (vestígios contabilizados).

Os achados divergiram dos descritos por Ferro *et al.* (2020), porém tal artigo utilizou pistola de fabricante e calibre diferente deste experimento. Outra divergência entre os experimentos está relacionada ao tipo de munição utilizada, convencional no experimento de Ferro *et al.* (2020) e NTA nessa dissertação, que tem outros componentes químicos, portanto outro padrão de queima e conseqüentemente de desprendimento de vestígios (Santos, 2020). Levantou-se sobre a adequabilidade da pele suína sem tratamento na estimativa de distância de tiro através dos efeitos secundários de tiro. Salienta-se ainda que, para além dos vestígios desprendidos, os aspectos macroscópicos das lesões e sua extensão são outros aspectos levantados por este estudo.

Os testes foram realizados conforme descrito. Como o experimento foi realizado em triplicata utilizou-se o critério de máximo valor entre as contagens de vestígios nos devidos suportes. A divisão entre fabricantes, tipos de estandes e tipo de suporte variando a distância entre atirador e alvo será descrita a seguir.

4.2.1 Beretta APX Full Size de número de série AA105605B

4.2.1.1 Estande interno

Nas figuras 41, 42, 43, 44 e 45 podemos observar cinco características diferenciáveis que estão descritas no Quadro 3, sendo: 1) zona de chama ou queimadura com rompimento do papel em forma de estrela, 2) zona de tatuagem com

microperfurações de baixa dispersão, 3) microperfurações de alta dispersão, 4) perfurações espaças, quase ausentes e 5) perfurações quase ausentes.

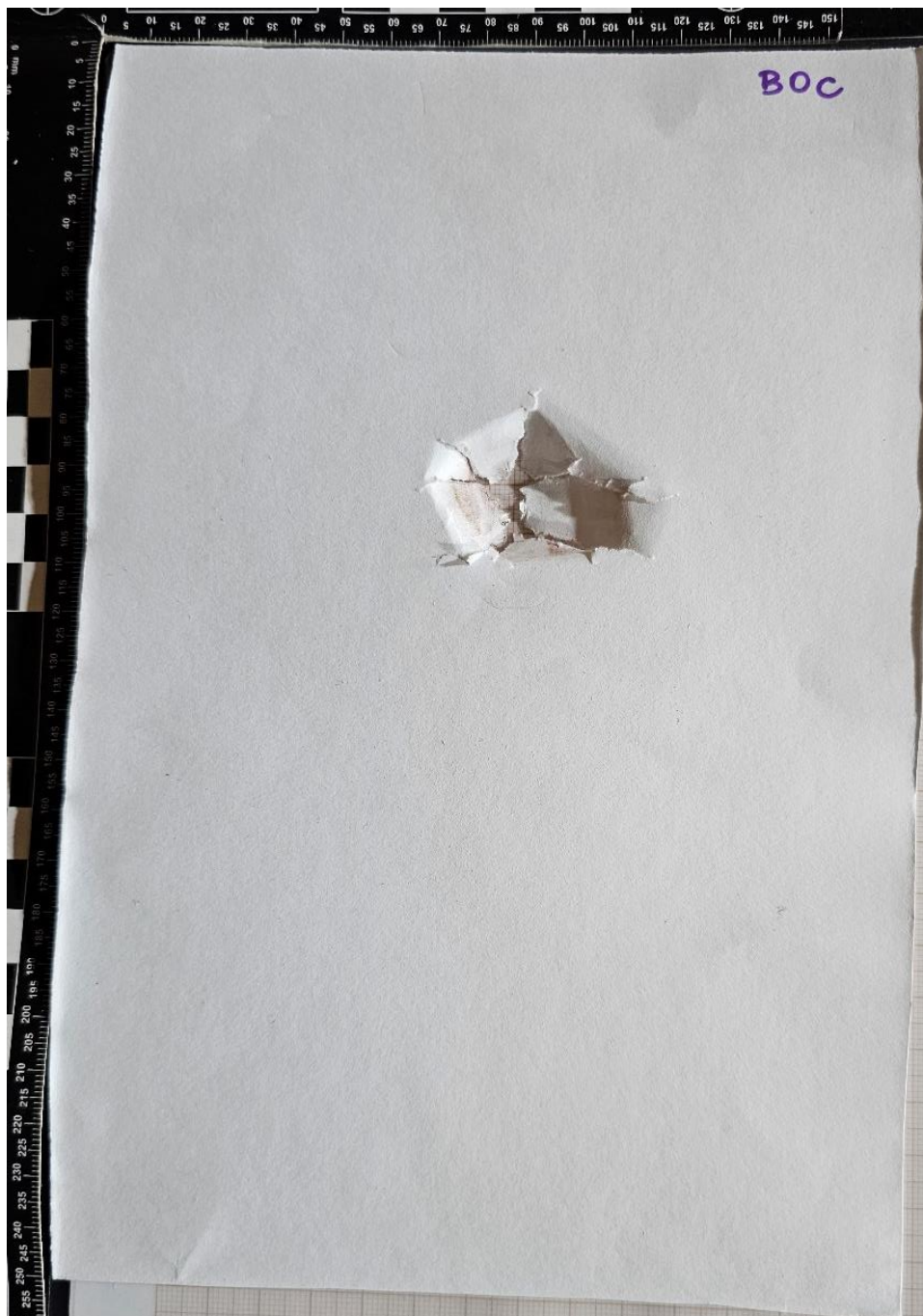
No Quadro 3 estão elencadas as observações sobre as cartolinas:

Quadro 3 - Efeitos secundários em cartolinas em estande interno

Distância	Efeito secundário observado
Encostado	Zona de chama ou de queimadura e com rompimento do papel com estrias em forma de estrela
10 cm	Zona de tatuagem com microperfurações de baixa dispersão (grânulos evidentemente concentrados)
20 cm	Zona de tatuagem com microperfurações de baixa dispersão (grânulos evidentemente concentrados)
30cm	Zona de tatuagem com microperfurações de baixa dispersão (grânulos evidentemente concentrados)
40cm	Microperfurações com alta dispersão
50cm	Leves perfurações de grânulos
60 cm	Perfurações de grânulos espaças, quase ausentes
70cm	Perfurações de grânulos espaças, quase ausentes
80 cm	Perfurações de grânulos espaças, quase ausentes
90cm	Perfurações de grânulos espaças, quase ausentes
100 cm	Perfurações quase ausentes
125cm	Perfurações quase ausentes
150cm	Perfurações quase ausentes

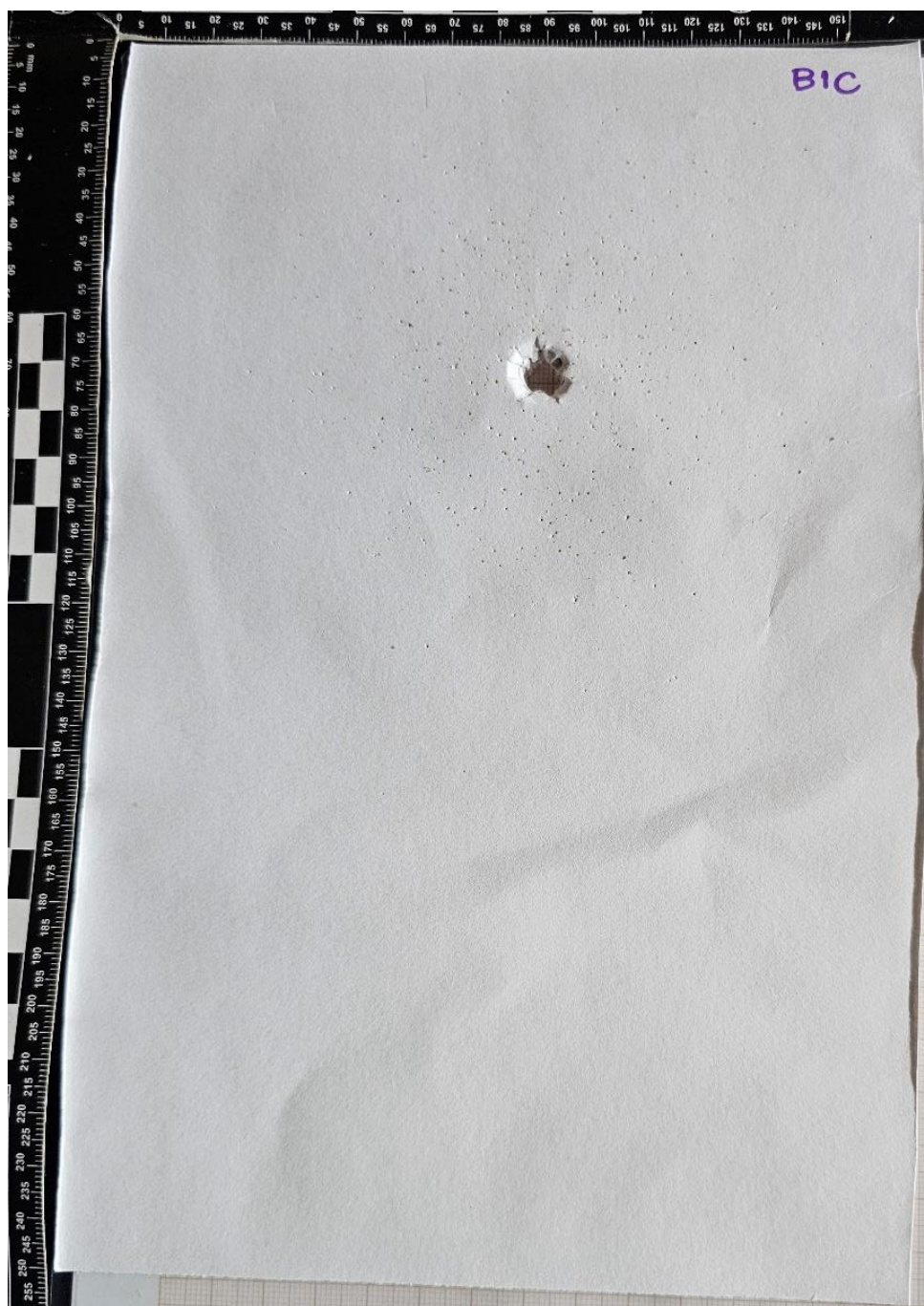
Fonte: Elaborada pela autora.

Figura 41 - Fotografia de cartolina com zona de chama ou de queimadura e com rompimento do papel com estrias em forma de estrela - distância de encosto



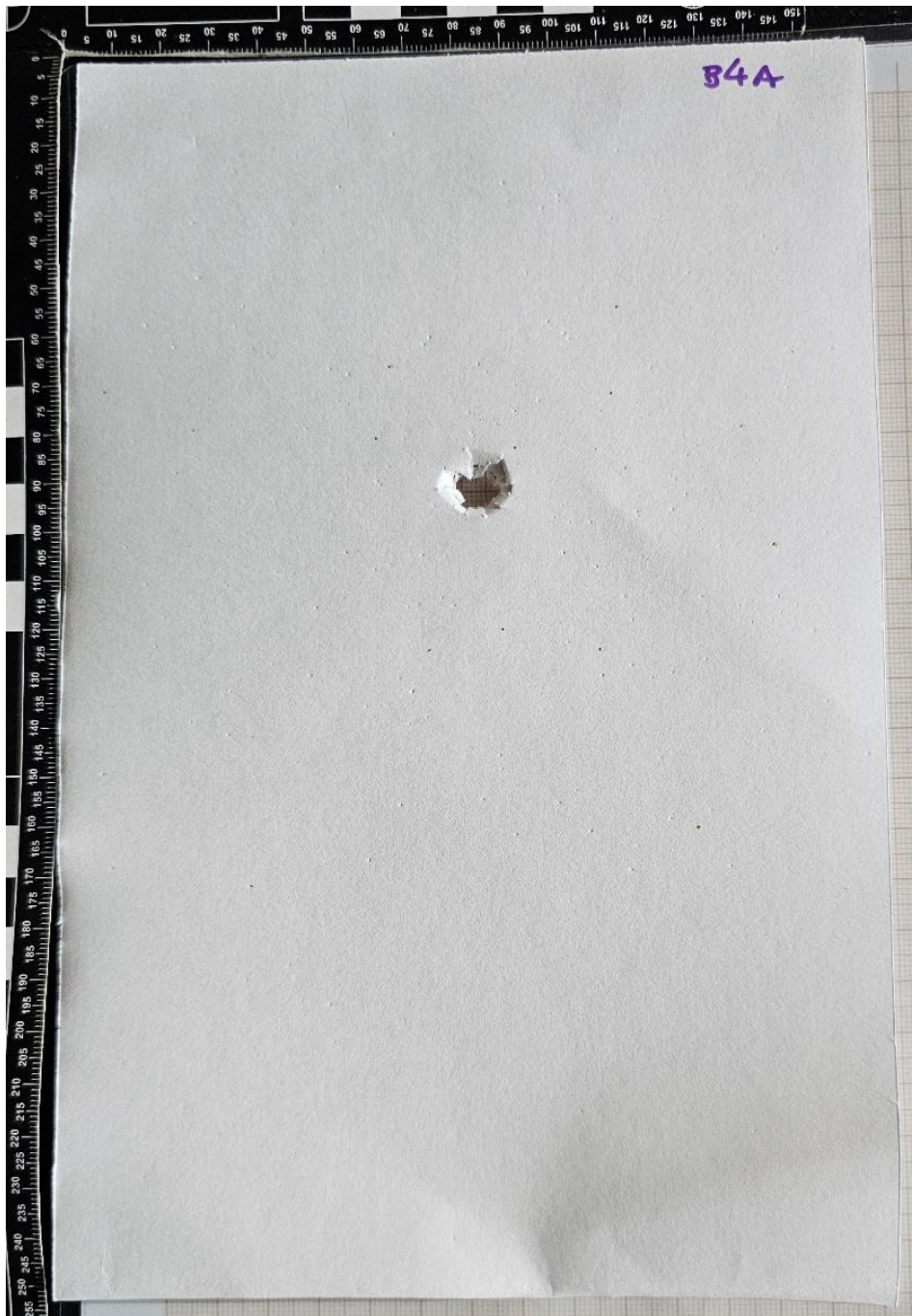
Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 42 - Fotografia de cartolina com zona de tatuagem com microperfurações de baixa dispersão (grânulos evidentemente concentrados) – distância de 10 cm



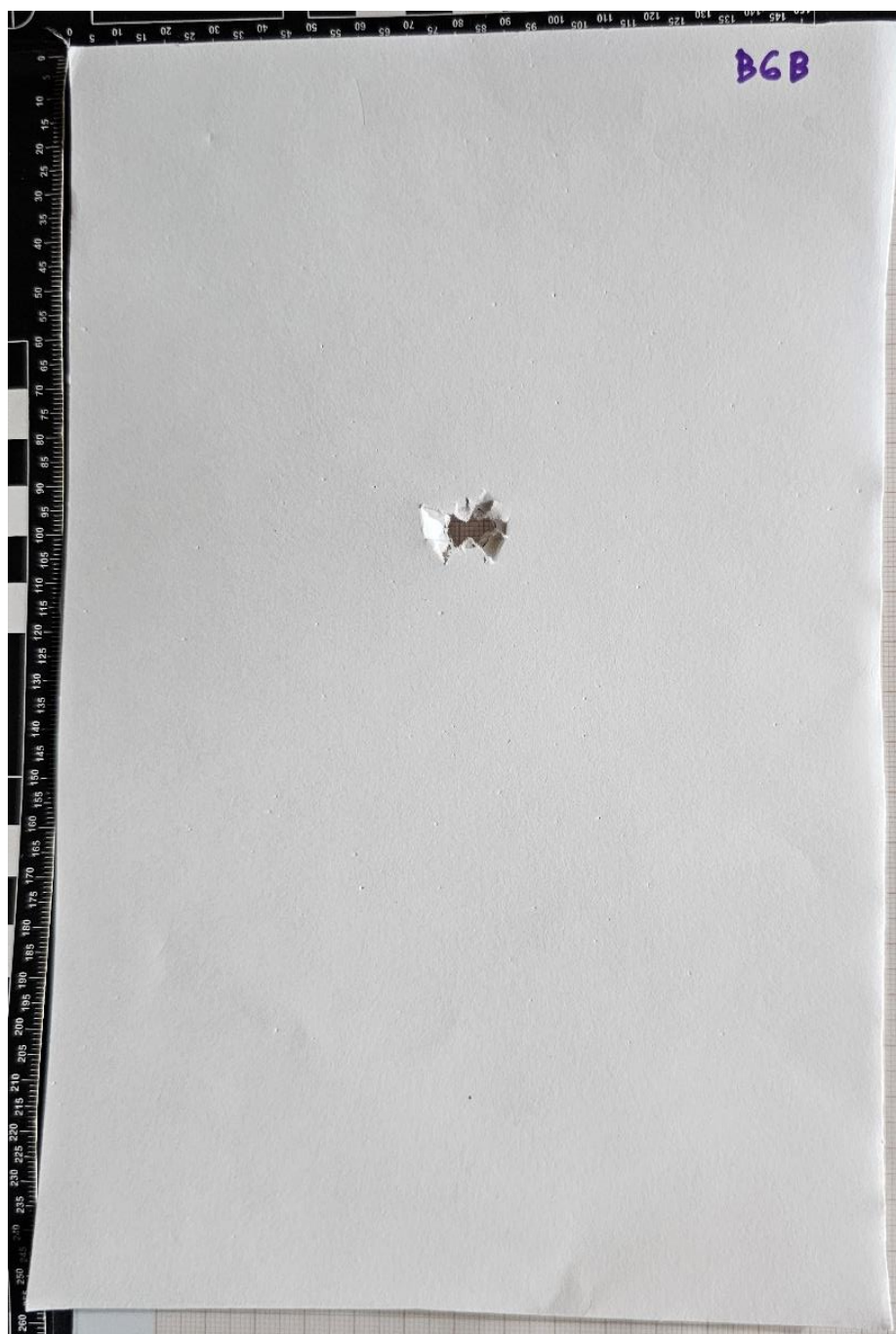
Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 43 – Fotografia de cartolina com microperfurações com alta dispersão - distância de 40 cm



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 44 - Fotografia de cartolina com microperfurações de grânulos espaças, quase ausentes - distância de 60 cm



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 45 - Fotografia de cartolina com microperfurações quase ausentes – distância 10 cm



Fonte: Elaborado pela autora.

No Quadro 4 estão elencadas as observações sobre as peles suínas:

Quadro 4 - Efeitos secundários em peles suínas em estande interno

Distância	Efeito secundário observado
Encostado	Zona de chama ou de queimadura
10 cm	Zona de esfumaçamento
20 cm	Zona de tatuagem com microperfurações de baixa

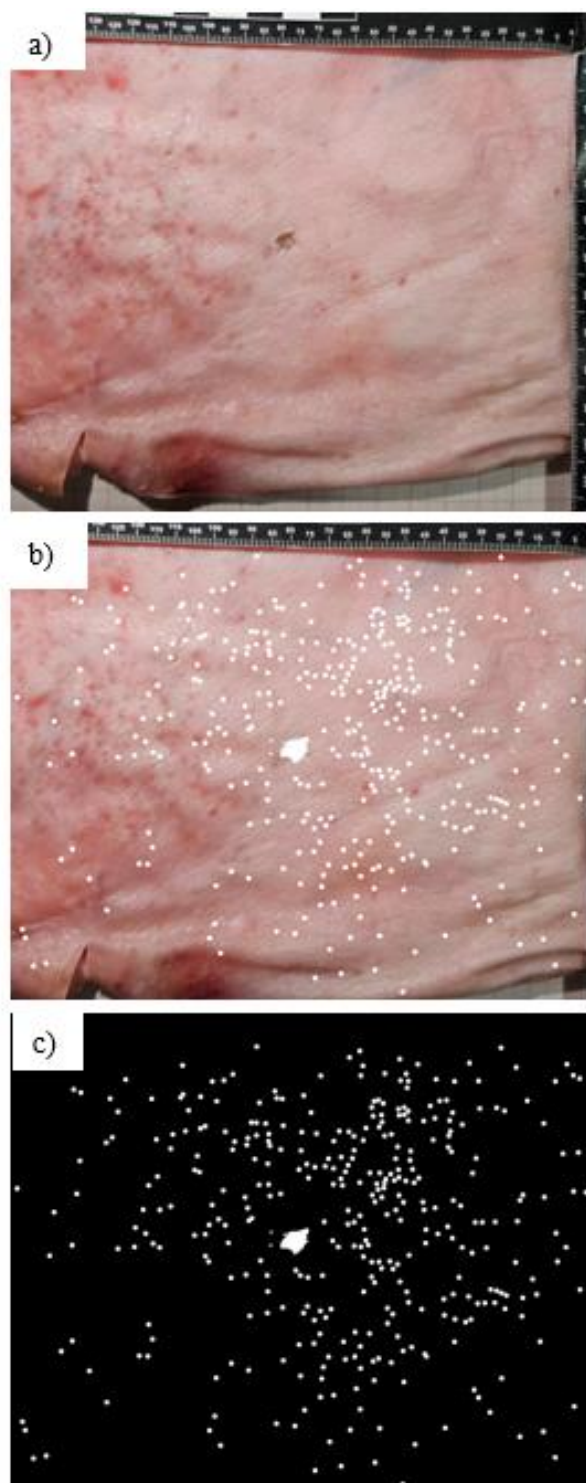
30cm	dispersão (grânulos evidentemente concentrados)
40cm	Zona de tatuagem com microperfurações de baixa
50cm	Microperfurações com alta dispersão
60 cm	Microperfurações com alta dispersão
70cm	Microperfurações com alta dispersão
80 cm	Microperfurações com alta dispersão
90cm	Microperfurações com alta dispersão
100 cm	Microperfurações com alta dispersão
125cm	Microperfurações com alta dispersão
150cm	Microperfurações com alta dispersão

Fonte: Elaborado pela autora.

Nas Figuras 46 e 47 há o comparativo entre fotografia capturada pós experimento, imagem já destacada com os vestígios que eram diferentes da maior parte uniforme da pele realçados e a mesma imagem após processamento no ImageJ. Esta última foi utilizada na ferramenta para a contagem automatizada de vestígios.

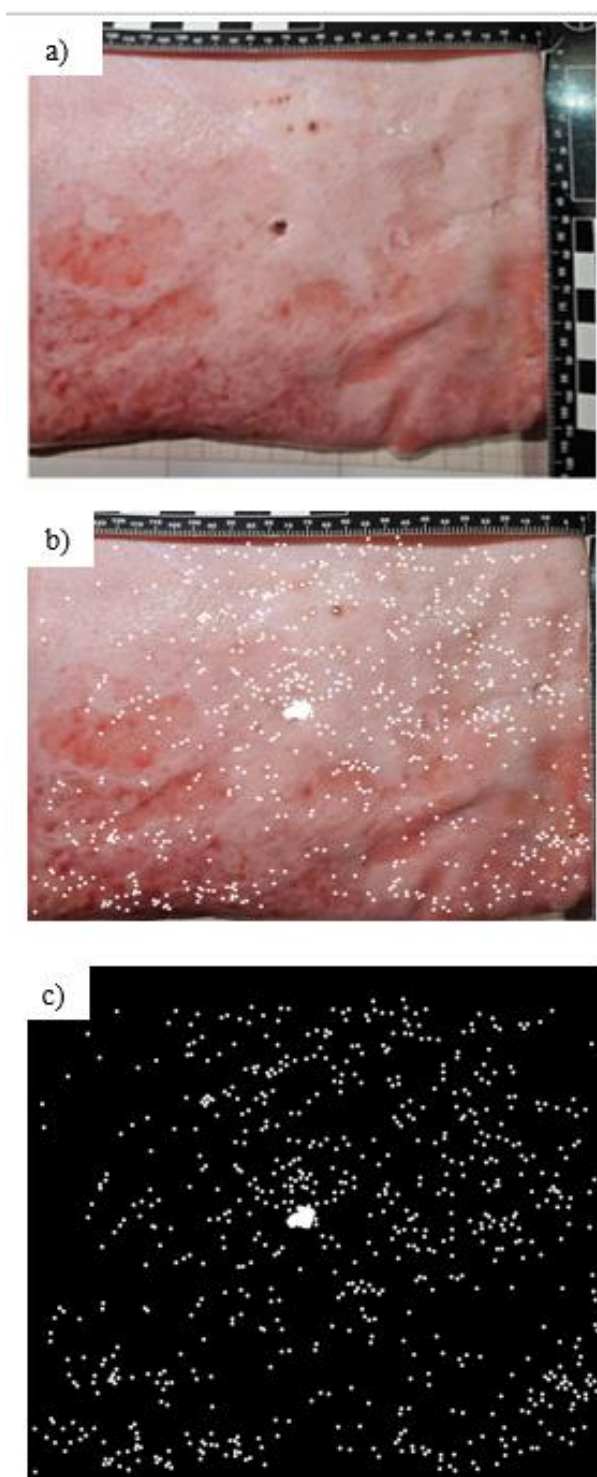
A falta de uniformidade das peles suínas se mostrou como um obstáculo que dificultou as análises objetivas dos vestígios. Além dos sinais de pólvora haviam outras marcas (sardas, folículos pilosos combatidos, matéria orgânica) e pela diferenciação das mesmas ser muito subjetiva optou-se por considerar todas as alterações na contagem. Acredita-se que a falta de uniformidade tenha contribuído para a diferença nas observações de número de vestígios entre pele suína e cartolina na mesma distância entre atirador e alvo.

Figura 46 - Imagem da pele suína (a), mapeamento feito (b) e processamento no ImageJ (c) - distância de 30 cm entre atirador e alvo



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 47 - Imagem da pele suína (a), mapeamento feito (b) e processamento no ImageJ (c) - distância de 40 cm entre atirador e alvo



Fonte: Elaborado pela autora.

4.2.1.2 Estande externo

Nas Figuras 48, 49, 50, 51 e 52 podemos observar cinco características diferenciáveis que estão descritas no Quadro 5, sendo: 1) zona de chama ou queimadura com rompimento do papel em forma de estrela, 2) zona de tatuagem com microperfurações de baixa dispersão, 3) microperfurações de alta dispersão, 4) perfurações espaças, quase ausentes e 5) perfurações quase ausentes.

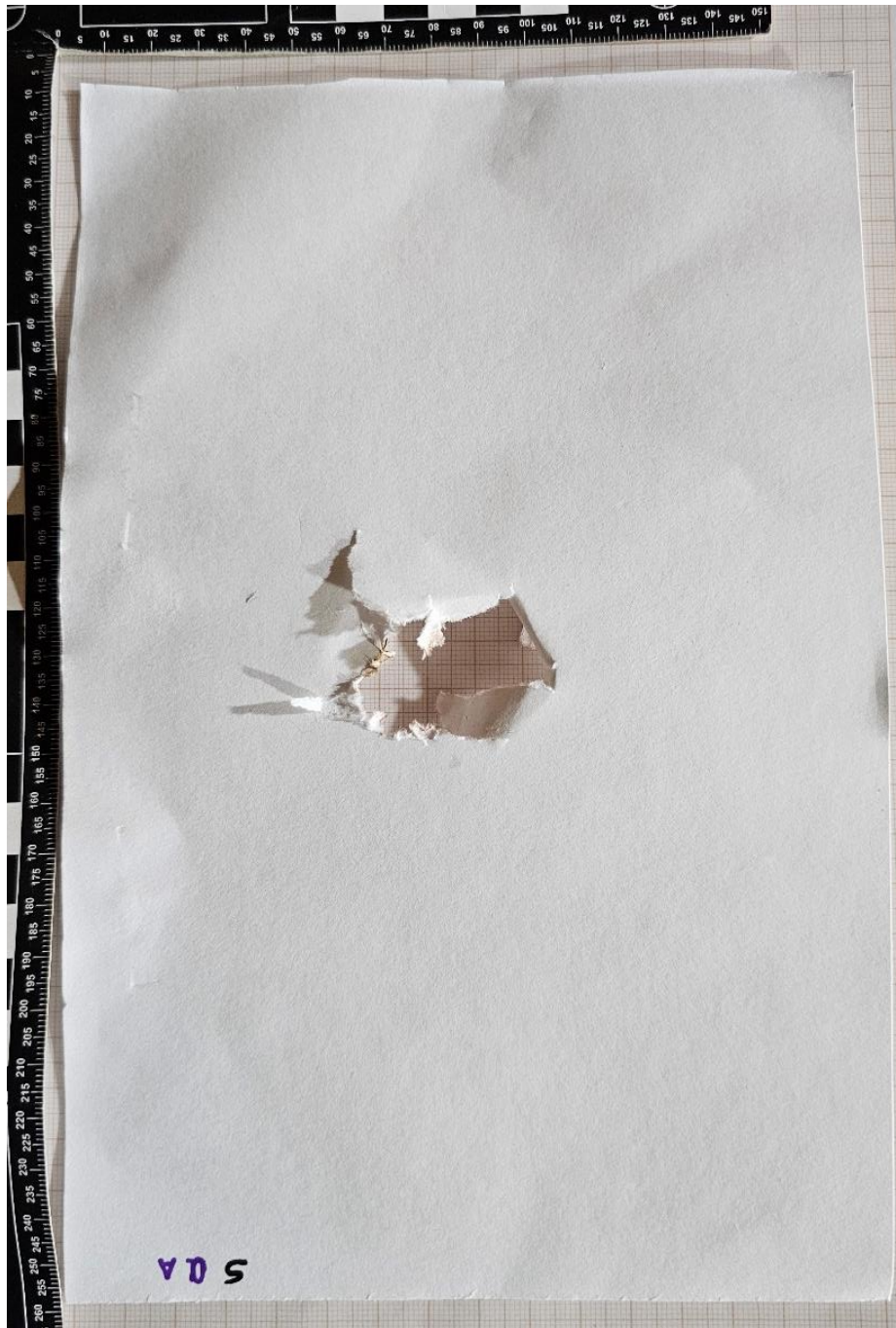
No Quadro 5 estão elencadas as observações sobre as cartolinas:

Quadro 5 - Efeitos secundários em cartolinas em estande externo

Distância	Efeito secundário observado
Encostado	Zona de chama ou de queimadura Rompimento do papel com estrias em forma de estrela
10 cm	Zona de tatuagem com microperfurações de baixa dispersão (grânulos evidentemente concentrados)
20 cm	Zona de tatuagem com microperfurações de baixa dispersão (grânulos evidentemente concentrados)
30cm	Zona de tatuagem com microperfurações de baixa dispersão (grânulos evidentemente concentrados)
40cm	Microperfurações com alta dispersão
50cm	Microperfurações com alta dispersão
60 cm	Perfurações de grânulos espaças
70cm	Perfurações de grânulos espaças
80 cm	Perfurações de grânulos espaças
90cm	Perfurações de grânulos espaças
100 cm	Perfurações quase ausentes
125cm	Perfurações quase ausentes
150cm	Perfurações quase ausentes

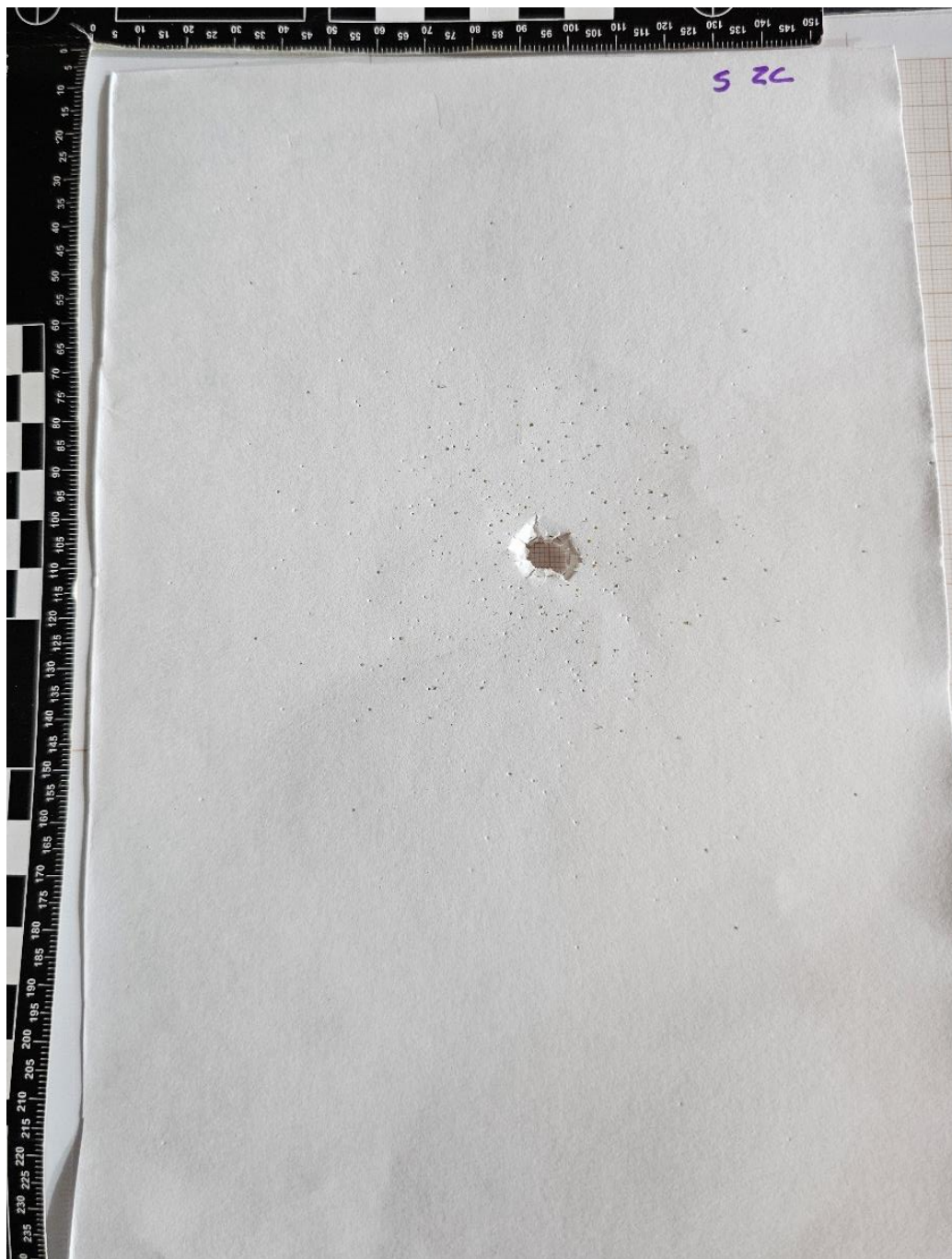
Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 48 - Fotografia de cartolina com zona de chama ou de queimadura e com rompimento do papel com estrias em forma de estrela - distância de encosto



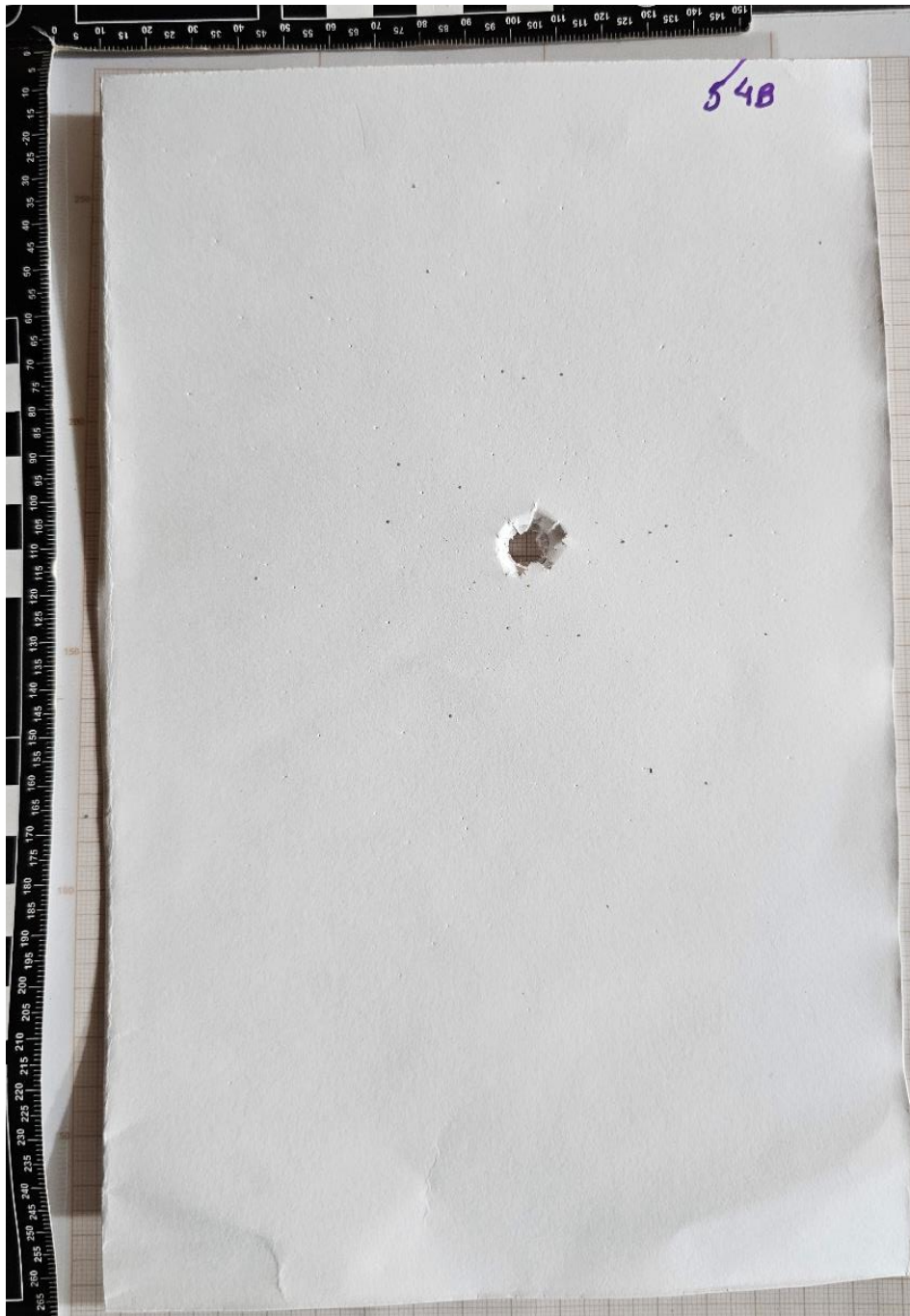
Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 49 - Fotografia de cartolina com zona de tatuagem com microperfurações de baixa dispersão (grânulos evidentemente concentrados) - distância de 20 cm



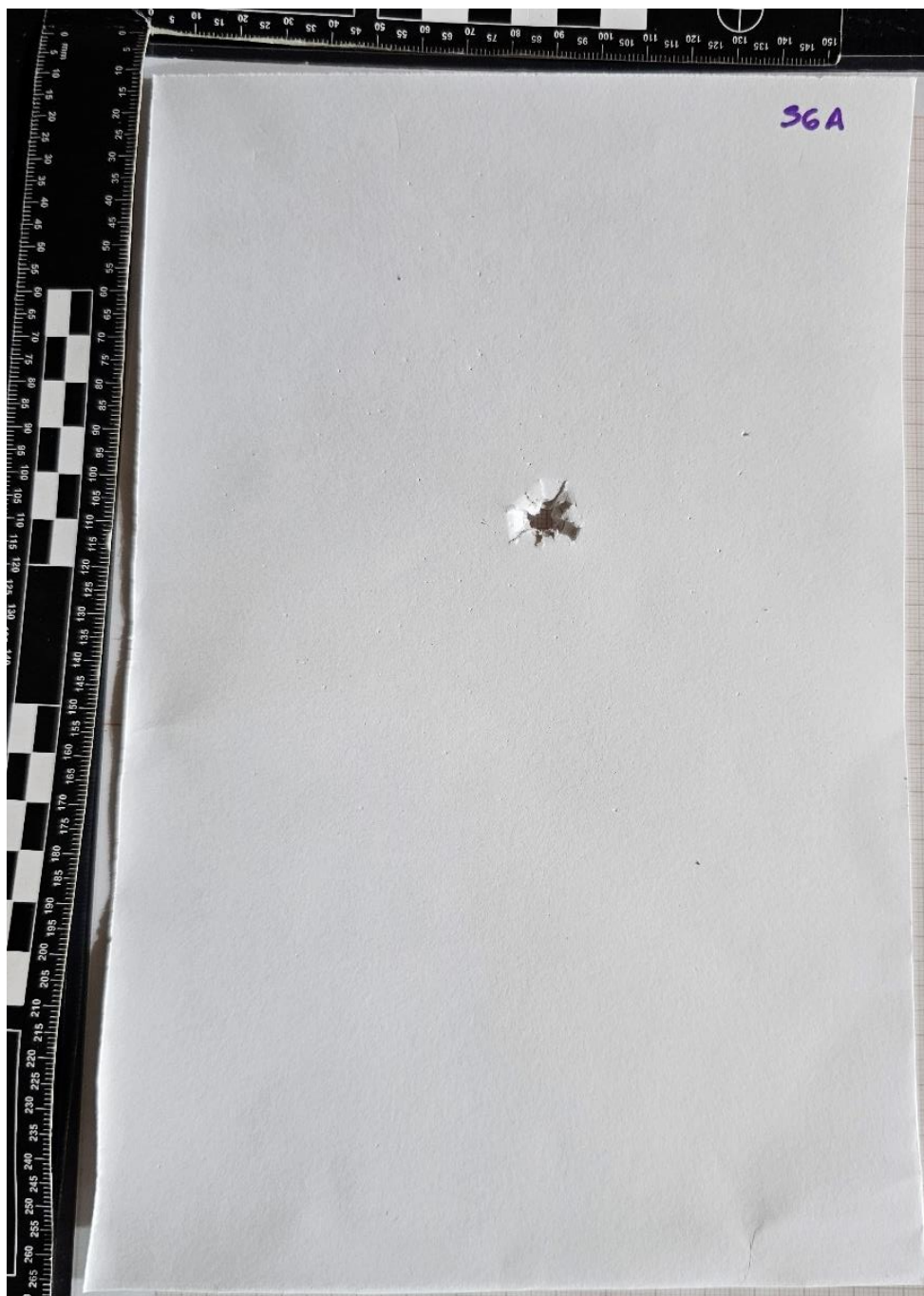
Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 50 - Fotografia de cartolina com microperfurações de alta dispersão - distância de 40 cm



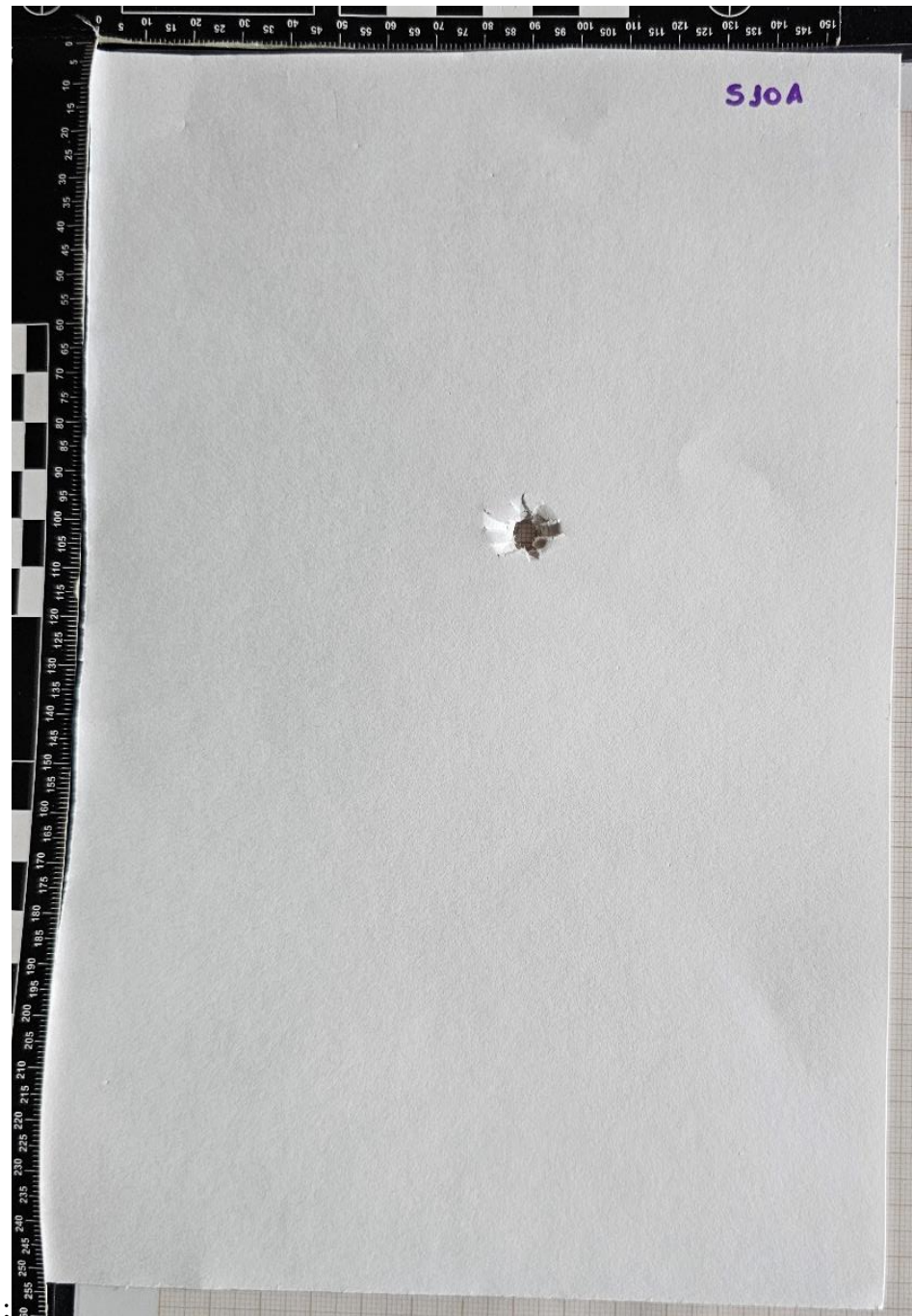
Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 51 - Fotografia de cartolina com perfurações de grânulos espaças – distância 60 cm



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 52 - Fotografia de cartolina com perfurações quase ausentes



Fonte: Elaborado pela autora.

No Quadro 6 estão elencadas as observações sobre as peles suínas:

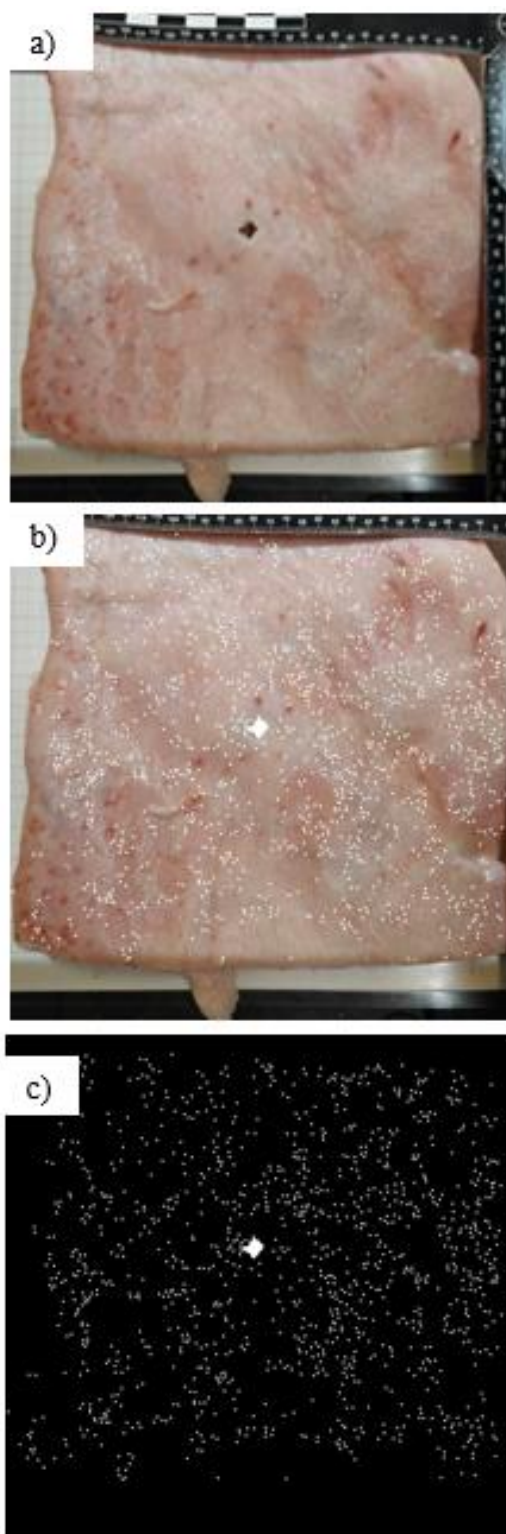
Quadro 6 - Efeitos secundários em peles suínas em estande externo

Distância	Efeito secundário observado
Encostado	Zona de chama ou de queimadura
10 cm	Zona de esfumaçamento
20 cm	Zona de tatuagem com microperfurações de baixa
30cm	dispersão (grânulos evidentemente concentrados)
40cm	Zona de tatuagem com microperfurações de baixa
50cm	Microperfurações com alta dispersão
60 cm	Microperfurações com alta dispersão
70cm	Microperfurações com alta dispersão
80 cm	Microperfurações com alta dispersão
90cm	Microperfurações com alta dispersão
100 cm	Microperfurações com alta dispersão
125cm	Microperfurações com alta dispersão
150cm	Microperfurações com alta dispersão

Fonte: Elaborado pela autora.

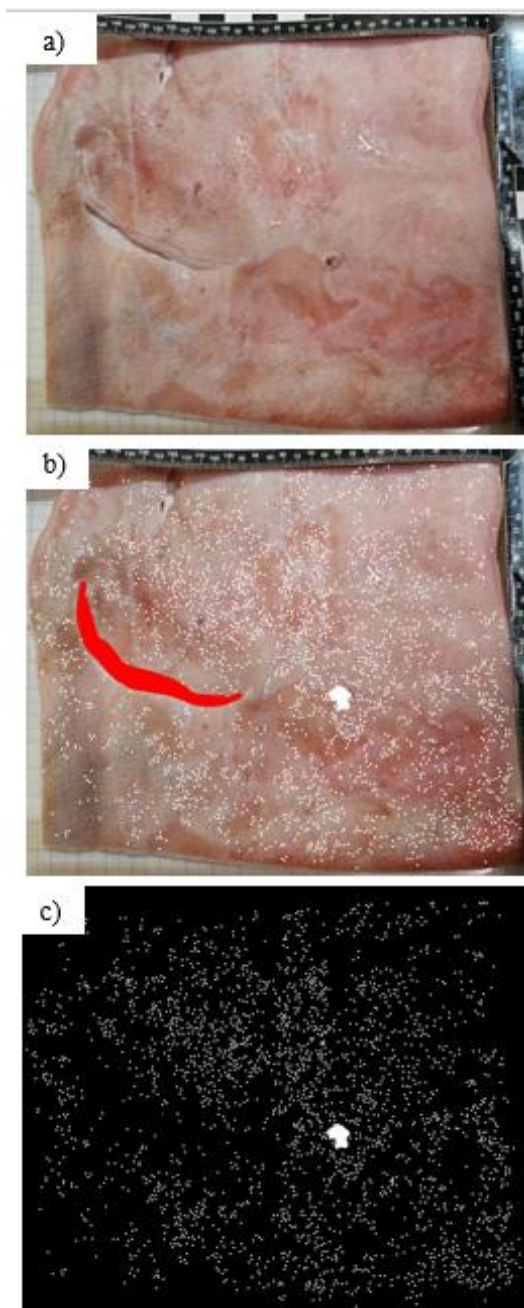
Nas figuras 53 e 54 é exibido o comparativo entre fotografia capturada pós experimento, imagem já destacada com os vestígios que eram diferentes da maior parte uniforme da pele realçados e a mesma imagem após processamento no ImageJ. Esta última foi utilizada na ferramenta para a contagem automatizada de vestígios.

Figura 53 - Imagem da pele suína (a), mapeamento feito (b) e processamento no ImageJ (c) - distância de 60 cm entre atirador e alvo



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 54 - Imagem da pele suína (a), mapeamento feito (b) e processamento no ImageJ (c) - distância de 100 cm entre atirador e alvo



Fonte: Elaborado pela autora.

4.2.2 Sig Sauer modelo P320 de número de série 58H004950

4.2.2.1 Estande interno

Nas Figuras 55, 56, 57, 58 e 59 podemos observar cinco características diferenciáveis que estão descritas no Quadro 7, sendo: 1) zona de chama ou queimadura com rompimento do papel em forma de estrela, 2) zona de tatuagem com microperfurações de baixa dispersão, 3) microperfurações de alta dispersão, 4) perfurações espaças, quase ausentes e 5) perfurações quase ausentes.

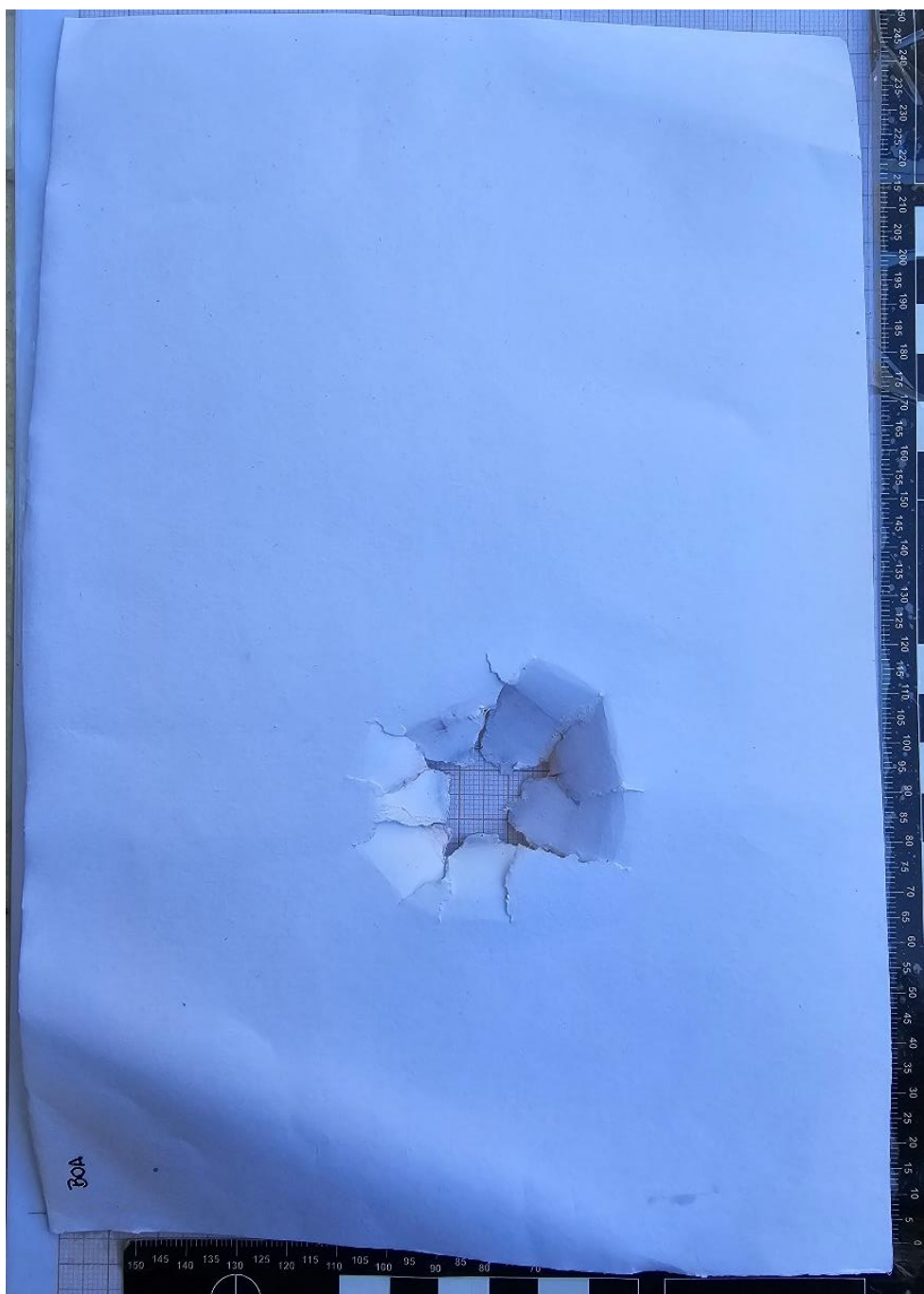
No Quadro 7 estão elencadas as observações sobre as cartolinas:

Quadro 7 - Efeitos secundários em cartolinas em estande interno

Distância	Efeito secundário observado
Encostado	Zona de chama ou de queimadura e rompimento do papel com estrias em forma de estrela
10 cm	Zona de tatuagem com microperfurações de baixa dispersão (grânulos evidentemente concentrados)
20 cm	Zona de tatuagem com microperfurações de baixa dispersão (grânulos evidentemente concentrados)
30cm	Zona de tatuagem com microperfurações de baixa dispersão (grânulos evidentemente concentrados)
40cm	Microperfurações com alta dispersão
50cm	Leves perfurações de grânulos
60 cm	Leves perfurações de grânulos
70cm	Perfurações de grânulos espaças, quase ausentes
80 cm	Perfurações de grânulos espaças, quase ausentes
90cm	Perfurações de grânulos espaças, quase ausentes
100 cm	Perfurações quase ausentes
125cm	Perfurações quase ausentes
150cm	Perfurações quase ausentes

Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 55 - Fotografia de cartolina com zona de chama ou queimadura e rompimento de papel em forma de estrela - distância de encosto



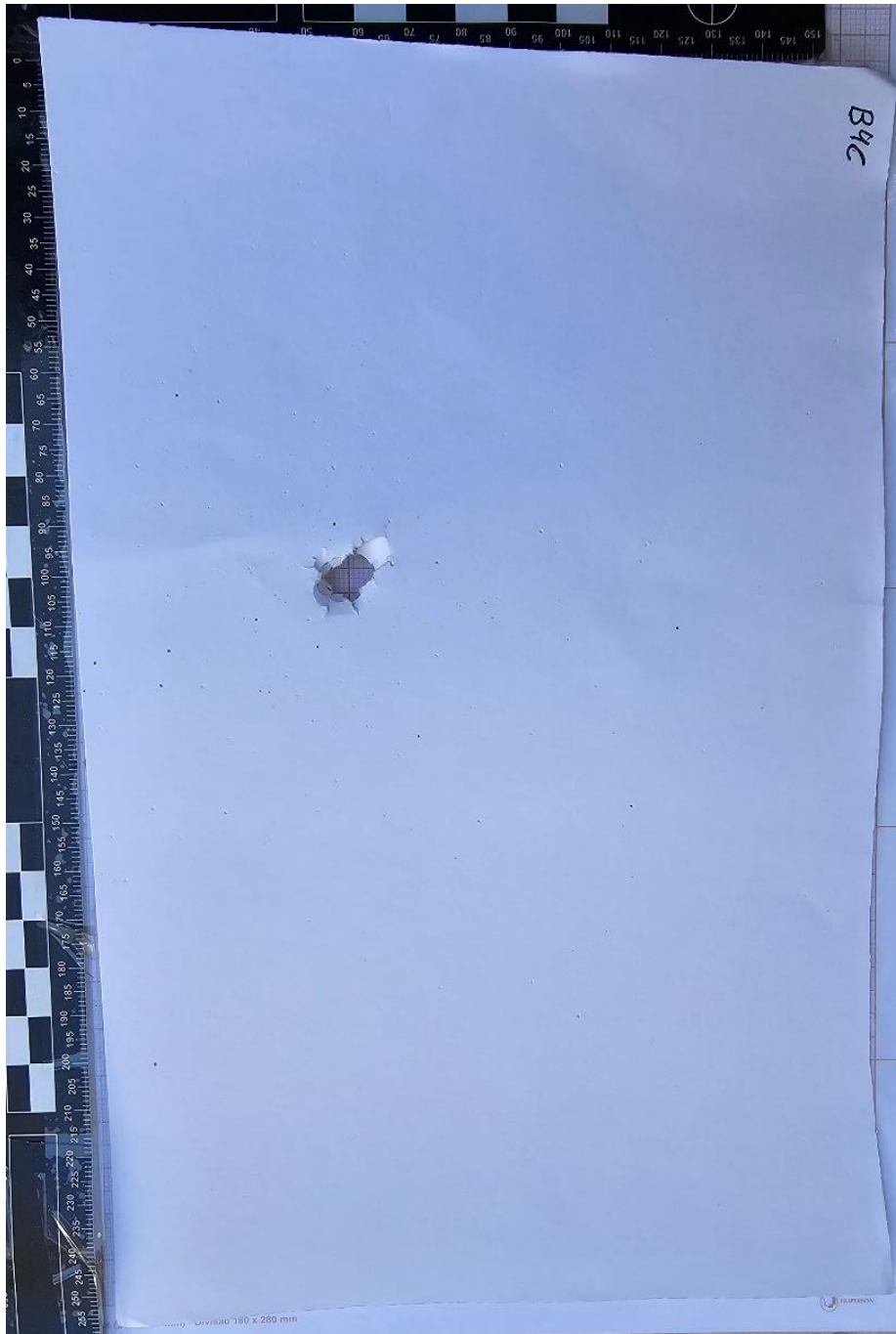
Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 56 - Fotografia de cartolina com zona de tatuagem com microperfurações de baixa dispersão - distância de 10 cm



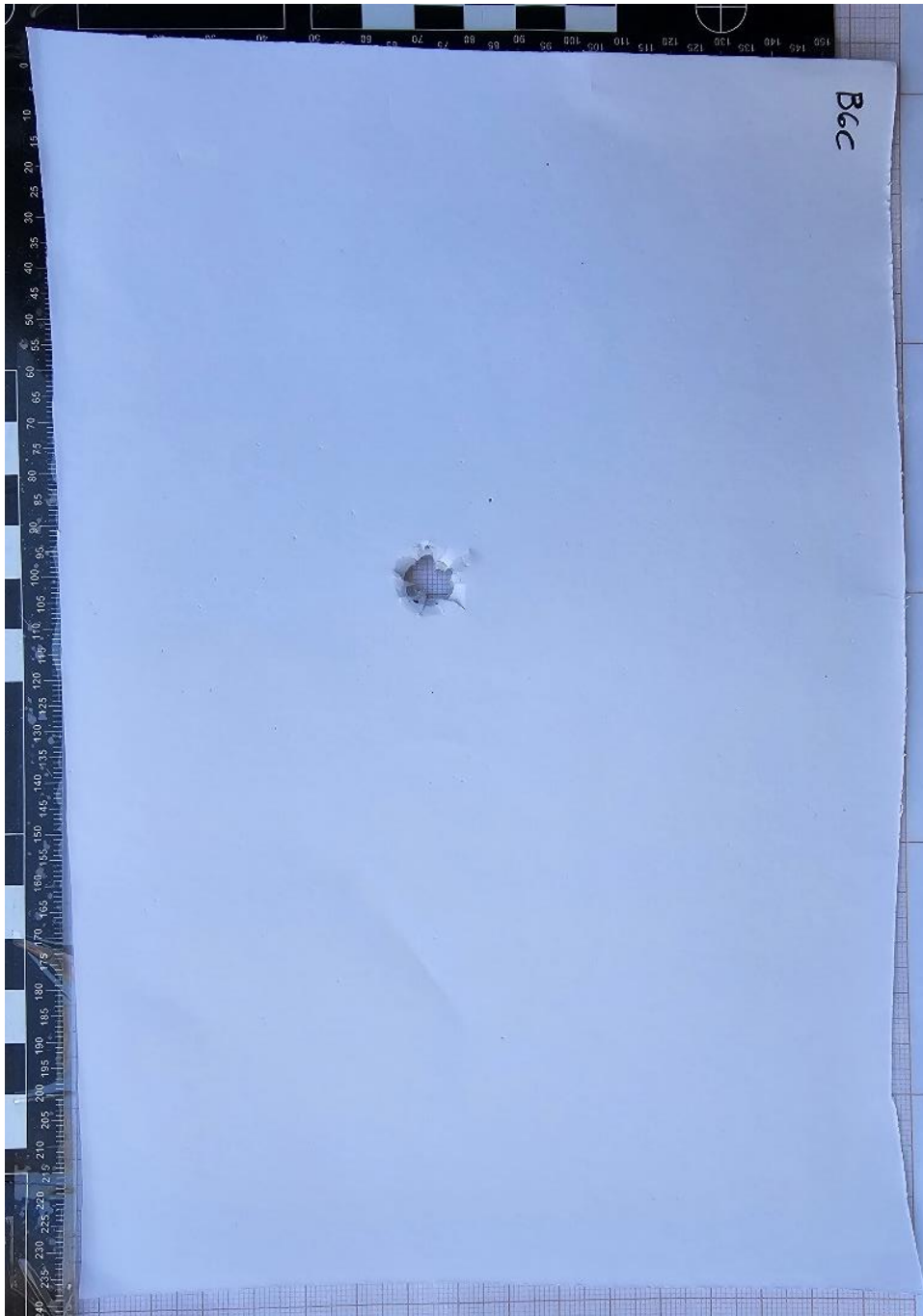
Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 57 - Fotografia da cartolina com microperfurações de alta dispersão - distância de 40 cm



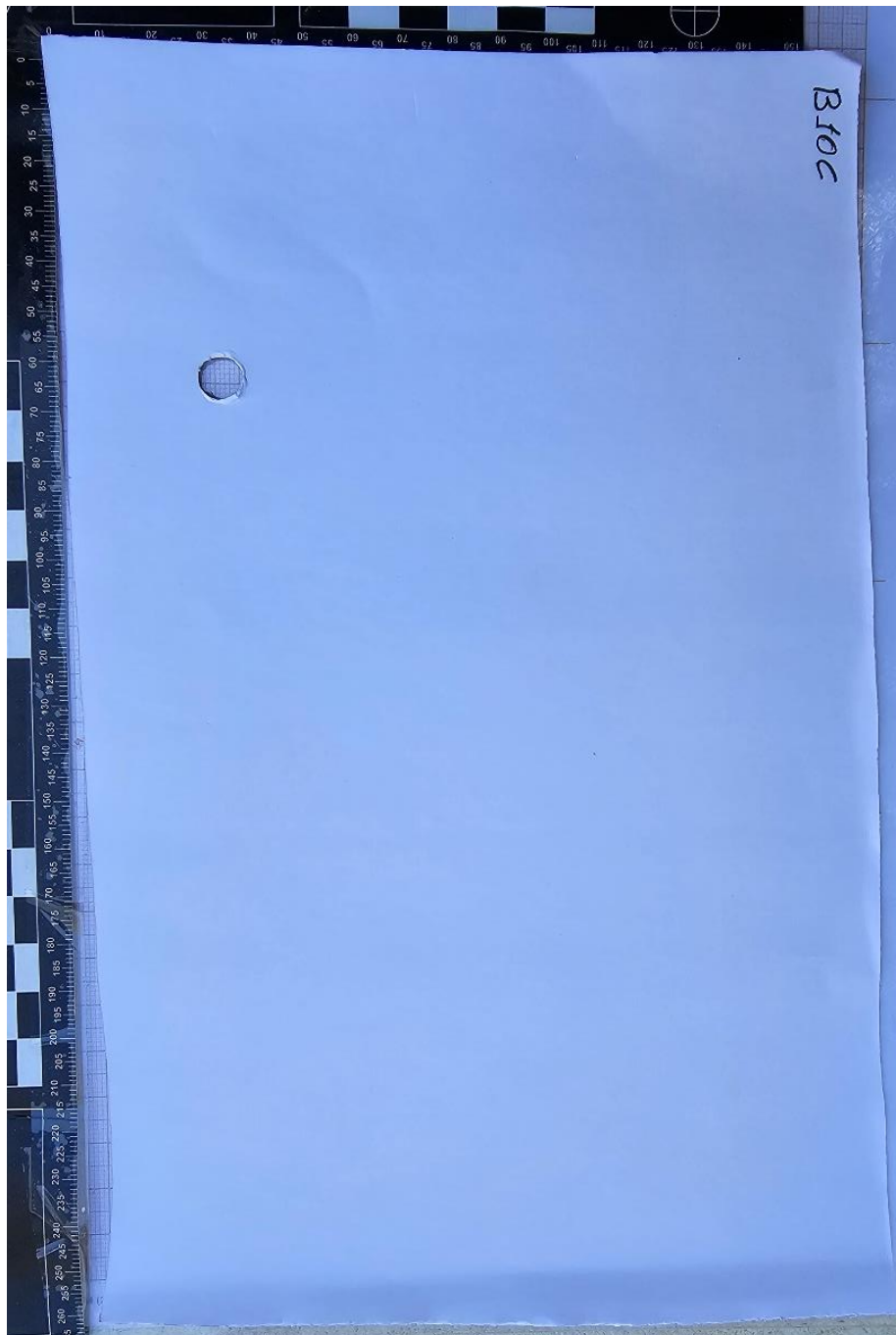
Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 58 - Fotografia de cartolina com microperfurações de grânulos espaças - distância de 60 cm



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 59 - Fotografia da cartolina com perfurações quase ausentes – distância 100 cm



Fonte: Elaborado pela autora.

No Quadro 8 estão elencadas as observações sobre as peles suínas:

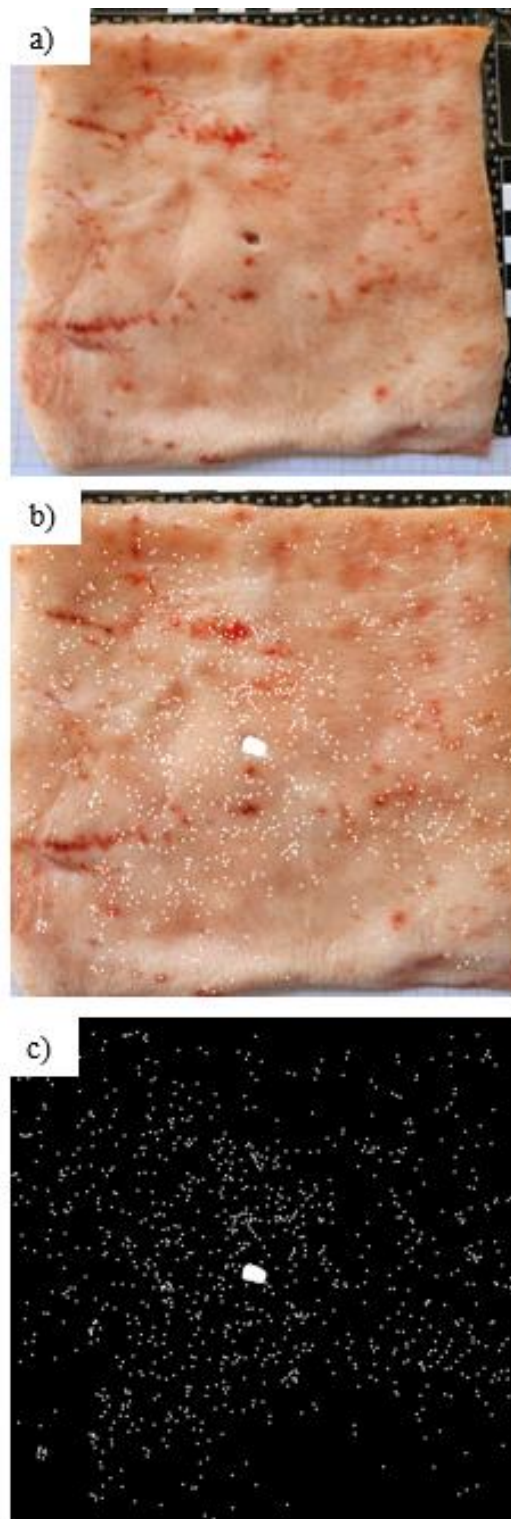
Quadro 8 - Efeitos secundários em pele suína em estande interno

Distância	Efeito secundário observado
Encostado	Zona de chama ou de queimadura e zona de esfumaçamento
10 cm	Zona de tatuagem com microperfurações de baixa dispersão (grânulos evidentemente concentrados)
20 cm	Zona de tatuagem com microperfurações de baixa dispersão (grânulos evidentemente concentrados)
30cm	Zona de tatuagem com microperfurações de baixa dispersão (grânulos evidentemente concentrados)
40cm	Microperfurações com alta dispersão
50cm	Microperfurações com alta dispersão
60 cm	Microperfurações com alta dispersão
70cm	Microperfurações com alta dispersão
80 cm	Microperfurações com alta dispersão
90cm	Microperfurações com alta dispersão
100 cm	Microperfurações com alta dispersão
125cm	Microperfurações com alta dispersão
150cm	Microperfurações com alta dispersão

Fonte: Elaborado pela autora.

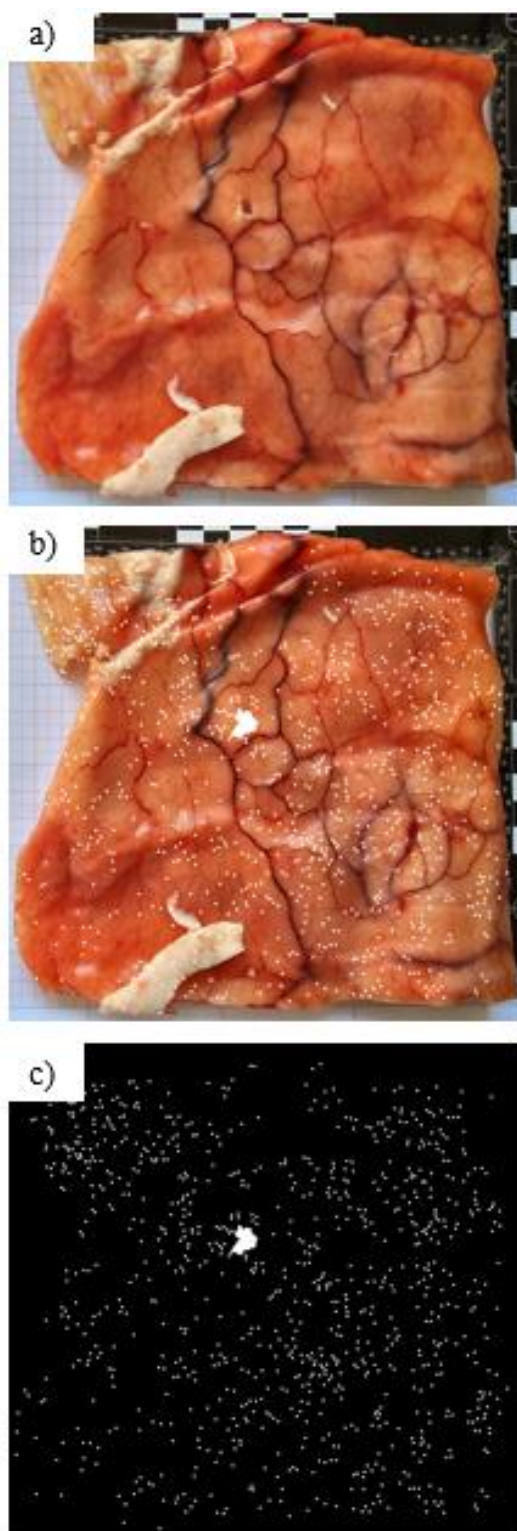
Nas Figuras 60 e 61 está ilustrado o comparativo entre fotografia capturada pós experimento, imagem já destacada com os vestígios que eram diferentes da maior parte uniforme da pele realçados e a mesma imagem após processamento no ImageJ. Esta última foi utilizada na ferramenta para a contagem automatizada de vestígios.

Figura 60 - Imagem da pele suína (a), mapeamento feito (b) e processamento no ImageJ (c) - distância de 30 cm entre atirador e alvo



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 61 - Imagem da pele suína (a), mapeamento feito (b) e processamento no ImageJ (c) - distância de 100 cm entre atirador e alvo



Fonte: Elaborado pela autora.

4.2.2.2 Estande externo

Nas figuras 62, 63, 64, 65 e 66 podemos observar cinco características diferenciáveis que estão descritas no Quadro 9, sendo: 1) zona de chama ou queimadura com rompimento do papel em forma de estrela, 2) zona de tatuagem com microperfurações de baixa dispersão, 3) microperfurações de alta dispersão, 4) perfurações espaças, quase ausentes e 5) perfurações quase ausentes.

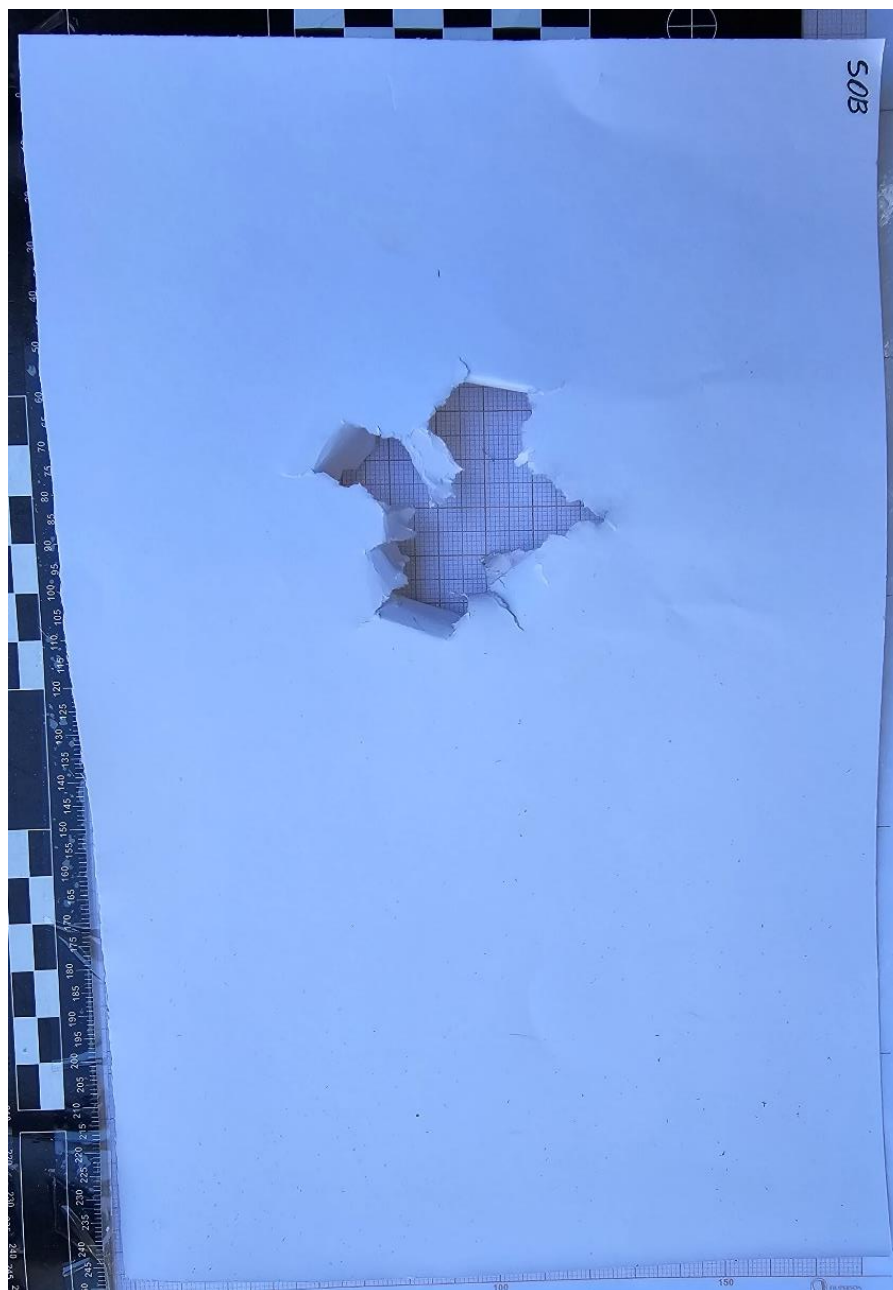
No Quadro 9 estão elencadas as observações sobre as cartolinas:

Quadro 9 - Efeitos secundários em cartolina em estande interno

Distância	Efeito secundário observado
Encostado	Zona de chama ou de queimadura e rompimento do papel com estrias em forma de estrela
10 cm	Rompimento de papel com estrias em forma de “S” e zona de tatuagem com microperfurações de baixa dispersão (grânulos evidentemente concentrados)
20 cm	Rompimento de papel com estrias em forma de “C” e zona de tatuagem com microperfurações de baixa dispersão (grânulos evidentemente concentrados)
30cm	Zona de tatuagem com microperfurações com média dispersão
40cm	Zona de tatuagem com microperfurações com média dispersão
50cm	Microperfurações com alta dispersão
60 cm	Leves perfurações de grânulos
70cm	Perfurações de grânulos espaças
80 cm	Perfurações quase ausentes
90cm	Perfurações quase ausentes
100 cm	Perfurações quase ausentes
125cm	Perfurações quase ausentes
150cm	Perfurações quase ausentes

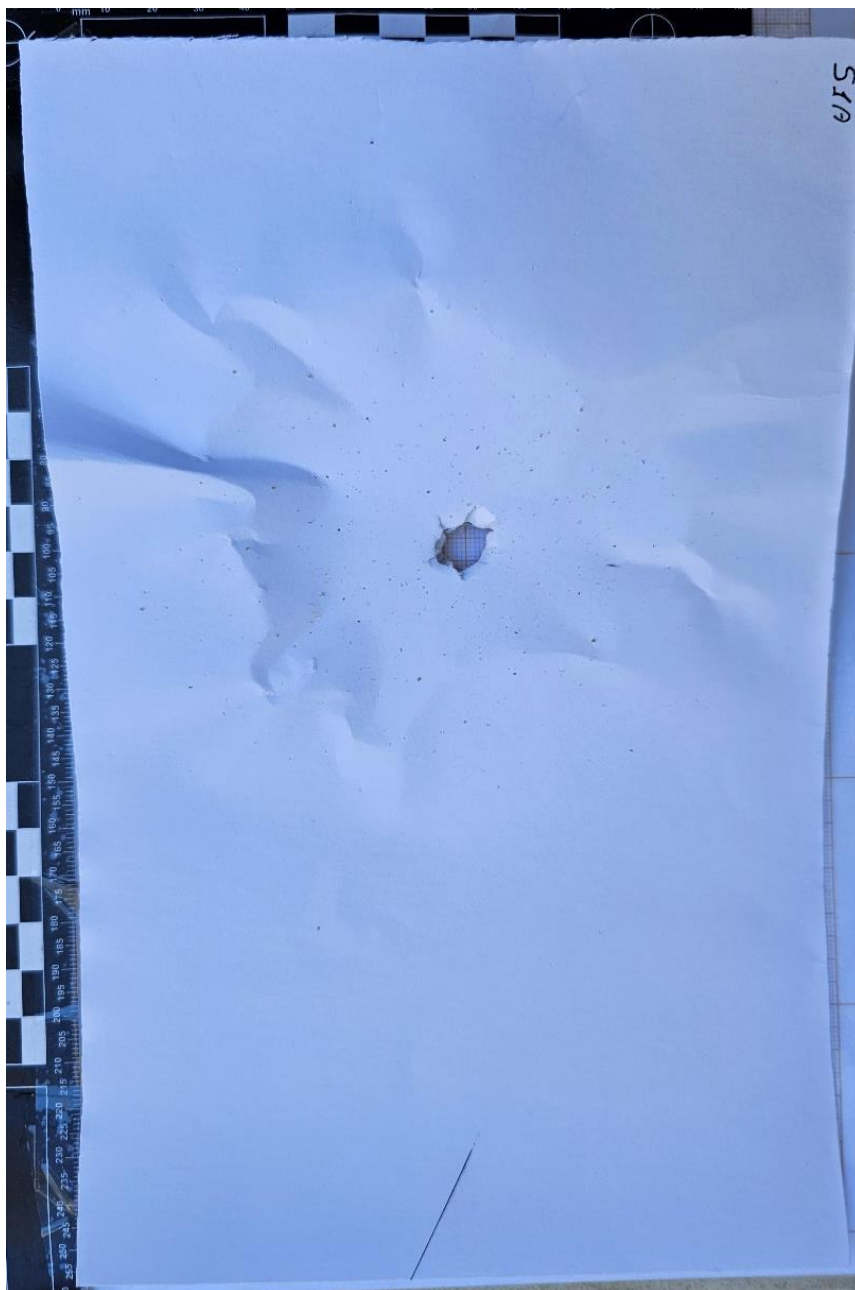
Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 62 - Fotografia de cartolina com zona de chama e rompimento do papel em formato de estrela - distância de encosto



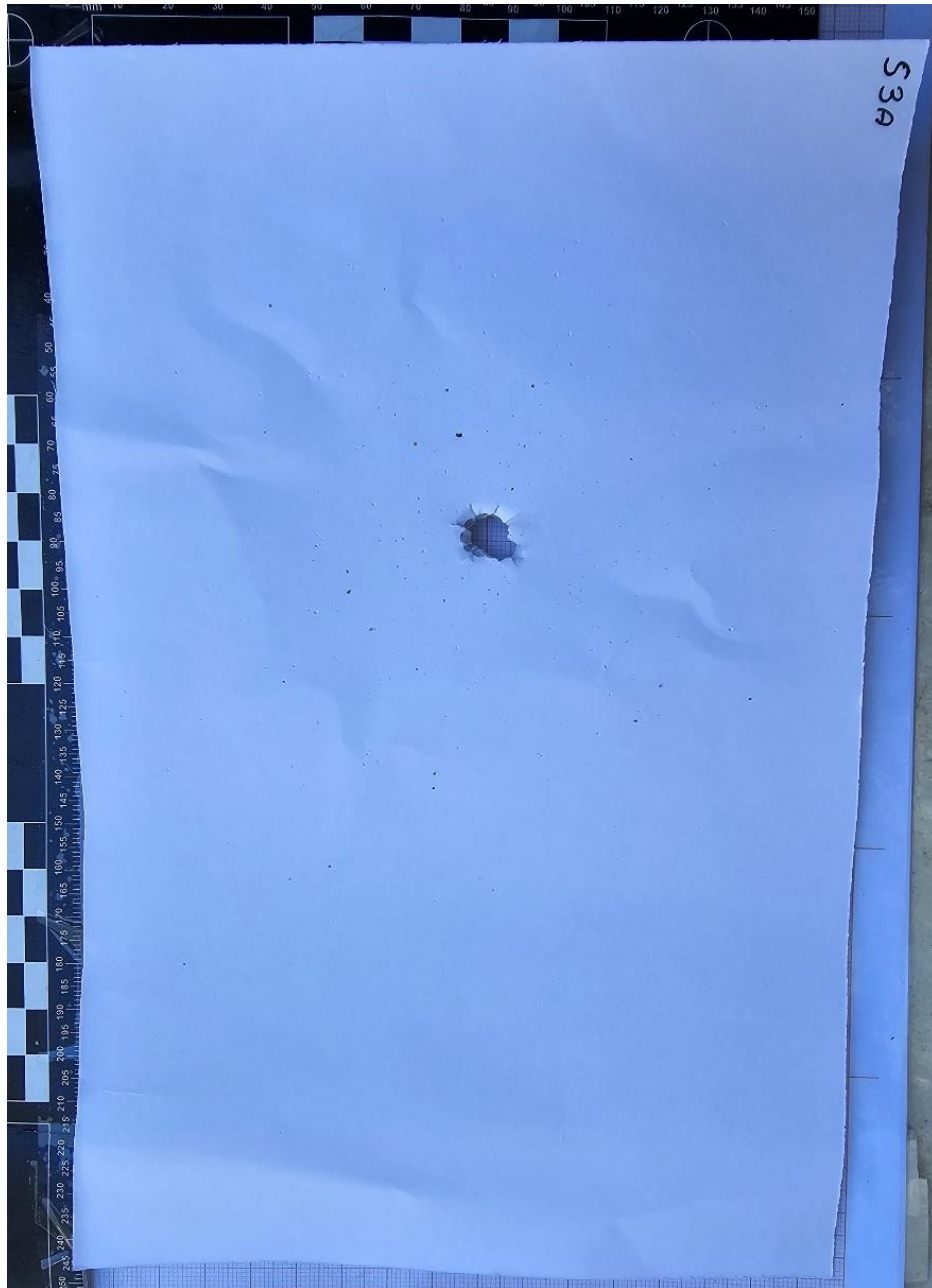
Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 63 - Fotografia de cartolina com zona de tatuagem com microperfurações de baixa dispersão - distância de 10 cm



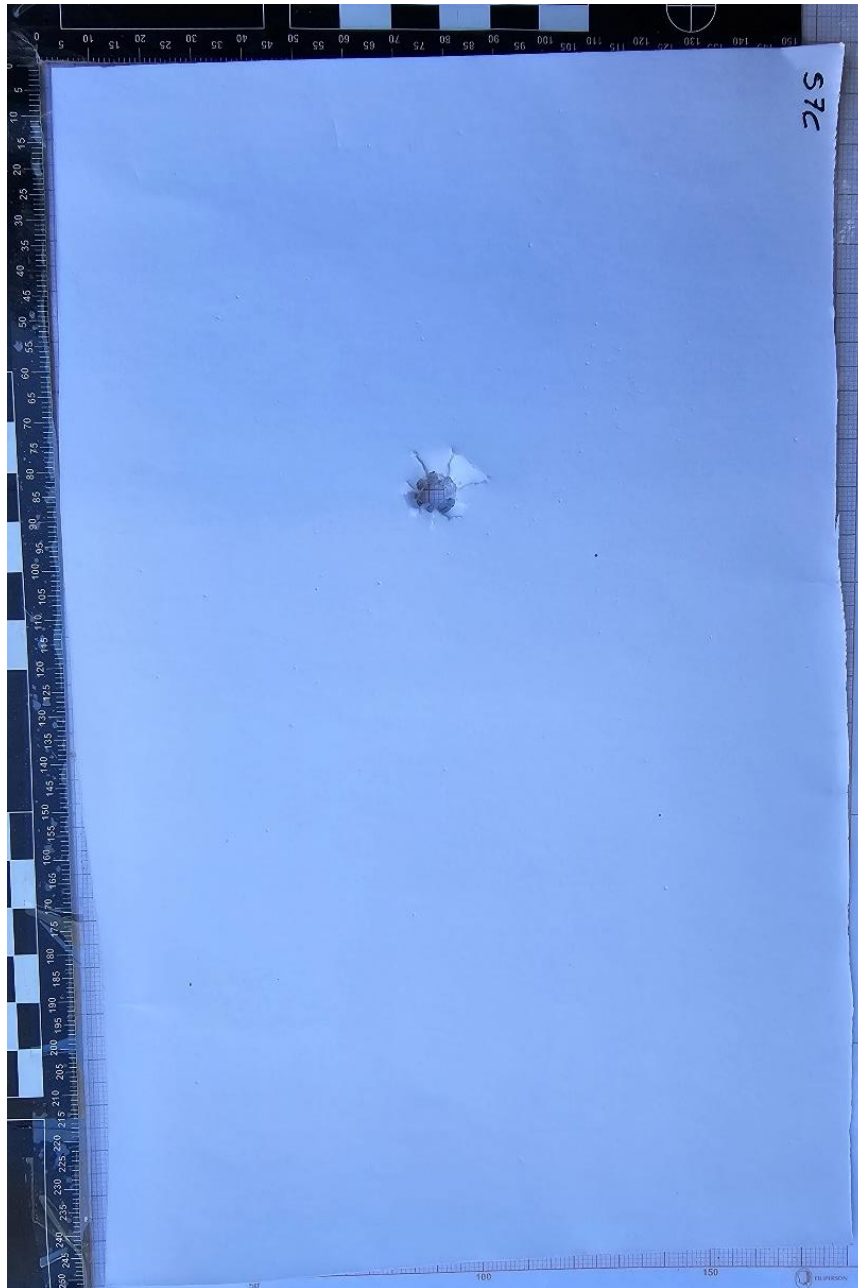
Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 64 - Fotografia de cartolina com microperfuração de alta dispersão - distância de 30 cm



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 65 - Fotografia de cartolina com perfurações de grânulos espaços – distância de 70 cm



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 66 - Fotografia de cartolina com perfurações quase ausentes - distância de 125 cm



Fonte: Elaborado pela autora.

No Quadro 10 estão elencadas as observações sobre as peles suínas:

Quadro 10 - Efeitos secundários em pele suína em estande externo

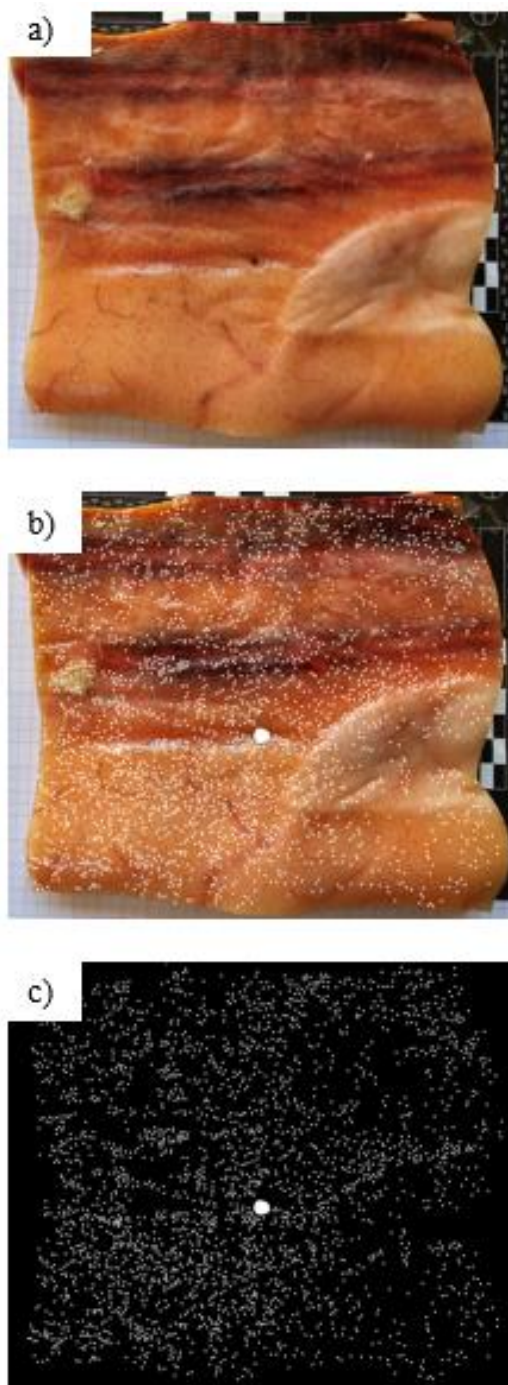
Distância	Efeito secundário observado
Encostado	Zona de chama ou de queimadura e zona de esfumaçamento
10 cm	Zona de tatuagem com microperfurações de baixa dispersão (grânulos evidentemente concentrados)
20 cm	Zona de tatuagem com microperfurações de baixa dispersão

	(grânulos evidentemente concentrados)
30cm	Zona de tatuagem com microperfurações de baixa dispersão (grânulos evidentemente concentrados)
40cm	Microperfurações com alta dispersão
50cm	Microperfurações com alta dispersão
60 cm	Zona de tatuagem com microperfurações de baixa dispersão (grânulos evidentemente concentrados)
70cm	Microperfurações com alta dispersão
80 cm	Microperfurações com alta dispersão
90cm	Microperfurações com alta dispersão
100 cm	Microperfurações com alta dispersão
125cm	Microperfurações com alta dispersão
150cm	Microperfurações com alta dispersão

Fonte: Elaborado pela autora.

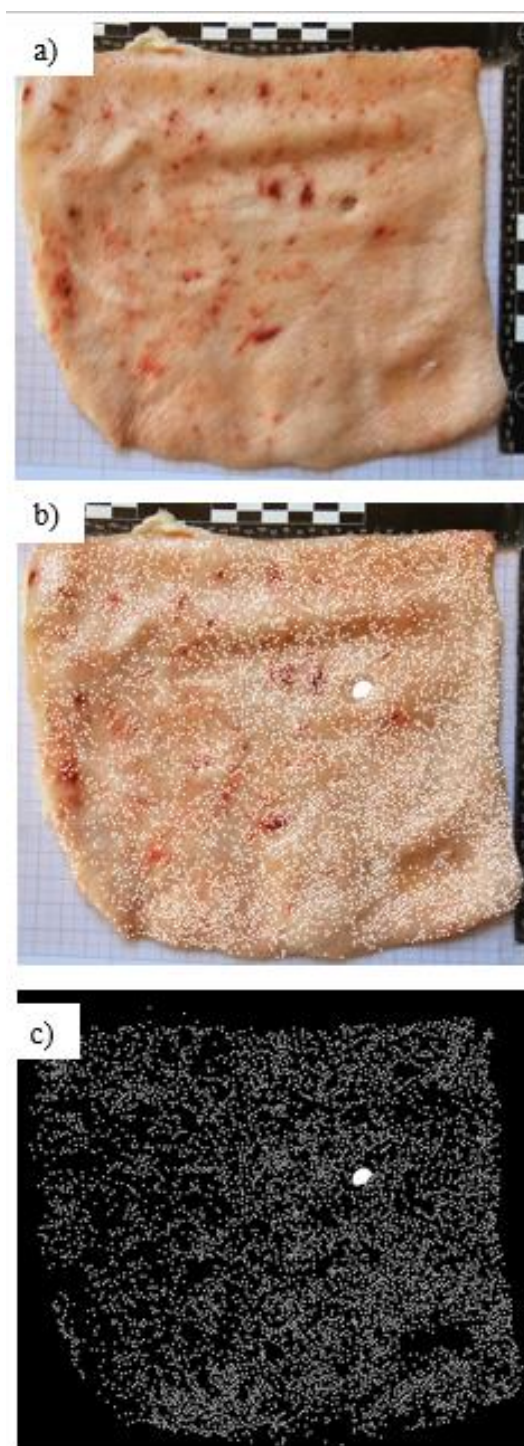
Nas figuras 67, 68 e 69 o comparativo entre fotografia capturada pós experimento, imagem já destacada com os vestígios que eram diferentes da maior parte uniforme da pele realçados e a mesma imagem após processamento no ImageJ é exibido. Esta última foi utilizada na ferramenta para a contagem automatizada de vestígios.

Figura 67 - Imagem da pele suína (a), mapeamento feito (b) e processamento no ImageJ (c) - distância de 10 cm entre atirador e alvo



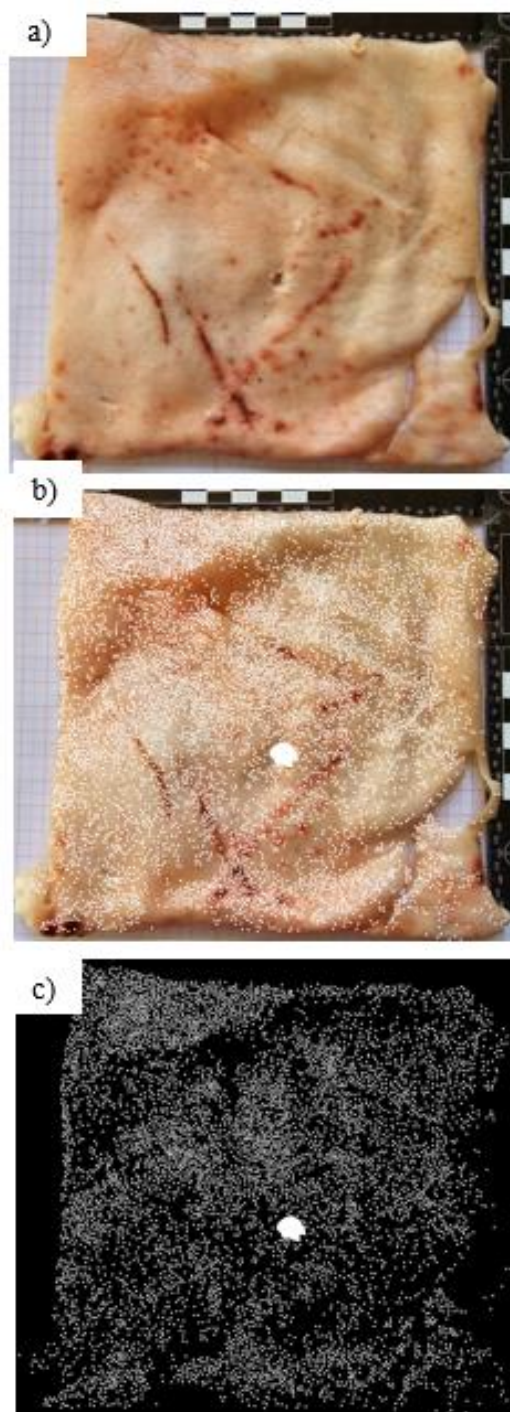
Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 68 - Imagem da pele suína (a), mapeamento feito (b) e processamento no ImageJ (c) - distância de 100 cm entre atirador e alvo



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 69 - Imagem da pele suína (a), mapeamento feito (b) e processamento no ImageJ (c) - distância de 125 cm entre atirador e alvo



Fonte: Elaborado pela autora.

4.3 Análises das lesões

Para a análise das lesões produzidas foram utilizadas as fotografias auxiliadas pelo uso da lupa Leica EZ4, que produziu imagens de tamanhos regulares permitindo a comparação entre diferentes fabricantes e estandes para a mesma distância como pode ser observado nas Figuras 70, 71 e 72.

Foram utilizados os Procedimentos Operacionais Padrão (POP) disponibilizados pela Secretaria Nacional de Segurança Pública do Ministério da Justiça e Segurança Pública do Governo Federal (Ministério da Justiça e Segurança Pública, 2024b; Ministério da Justiça e Segurança Pública, 2024c) associados aos livros de medicina legal em suas seções de traumatologia forense relacionadas a ferimentos de arma de fogo (Croce; Croce Júnior, 2012; França, 2018; Santos; Issa, 2023d).

Para fins esclarecedores as análises aqui elencadas se limitaram aos aspectos morfológicos das lesões, não abordando qualquer característica de patologia médico legal. Outra limitação está nos aspectos escolhidos para exame que se limitaram ao que seria a atuação da perícia oficial criminal, semelhante a um exame perinecrocópico, não desdobrando em exames de atribuição do perito oficial médico legista.

A Tabela 2 exibe o tamanho das lesões na seguinte ordem: Beretta em estande aberto, Sig Sauer em estande aberto, Beretta em estande fechado e Sig Sauer em estande fechado. Os tamanhos estão relacionados às lesões exibidas no mapa comparativo das lesões (Figura 70, Figura 71 e Figura 72). Os efeitos secundários estão elencados nos Quadros 4, 6, 8 e 10. As lesões com distância de 0 cm tinham aspecto estrelado pois o suporte de MDF utilizado serviu como um simulador de anteparo ósseo.

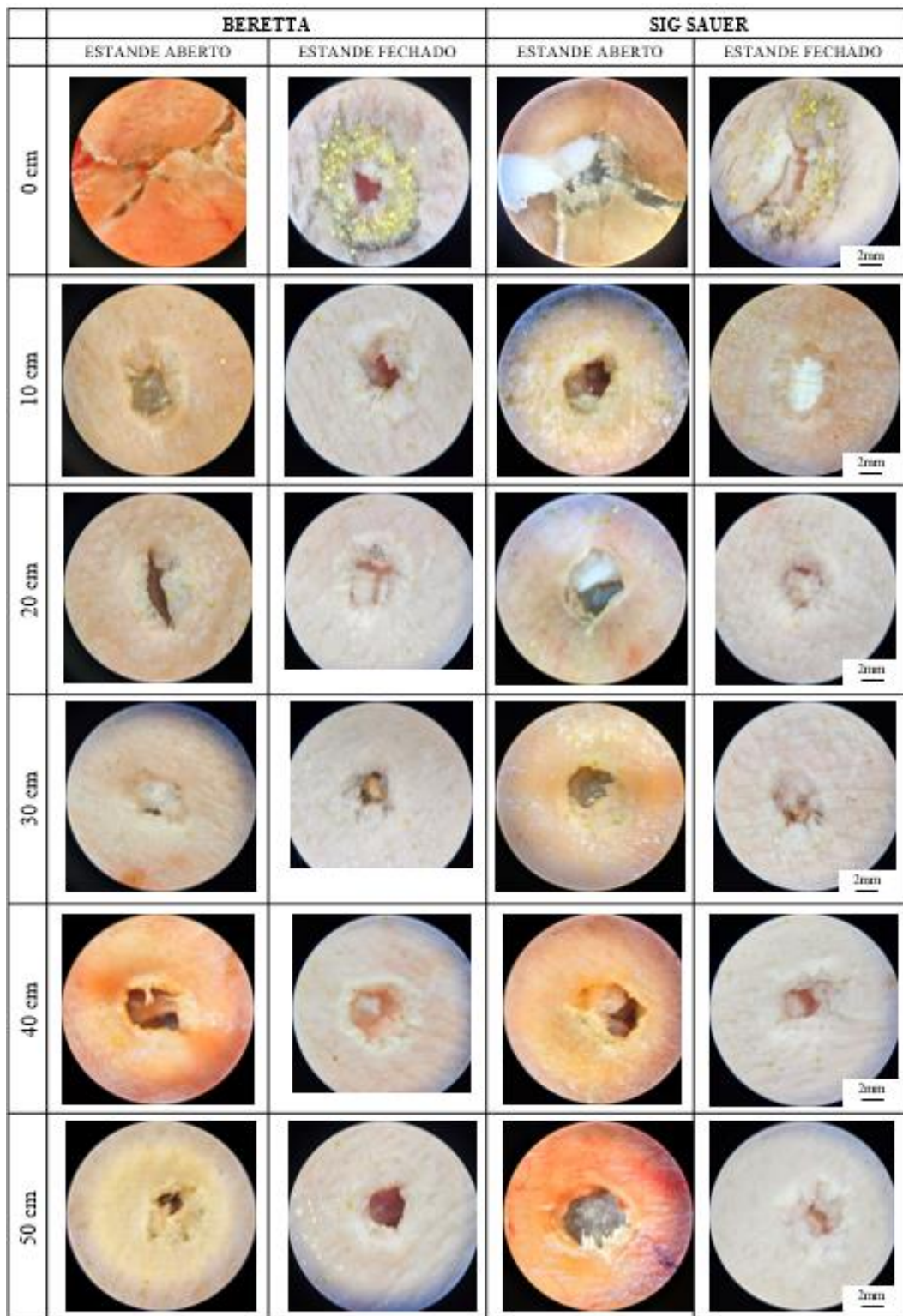
Tabela 2 - Tamanho das lesões produzidas nas peles suínas

Distâncias em mm ²	Aberto		Fechado	
	Beretta	Sig Sauer	Beretta	Fechado
0 cm	135,515	134,877	366,817	108,239
10 cm	50,723	27,296	59,893	34,939
20 cm	43,008	32,339	45,476	32,474
30 cm	40,891	46,430	40,154	21,643
40 cm	58,604	37,340	35,645	26,809
50 cm	39,505	55,045	31,074	30,460
60 cm	46,012	42,164	34,993	44,654

70 cm	55,858	47,144	24,920	44,054
80 cm	48,659	48,956	45,944	46,129
90 cm	35,674	34,570	44,478	30,026
100 cm	59,062	73,392	25,649	49,101
125 cm	31,867	48,559	66,824	64,832
150 cm	42,491	73,061	79,755	55,594

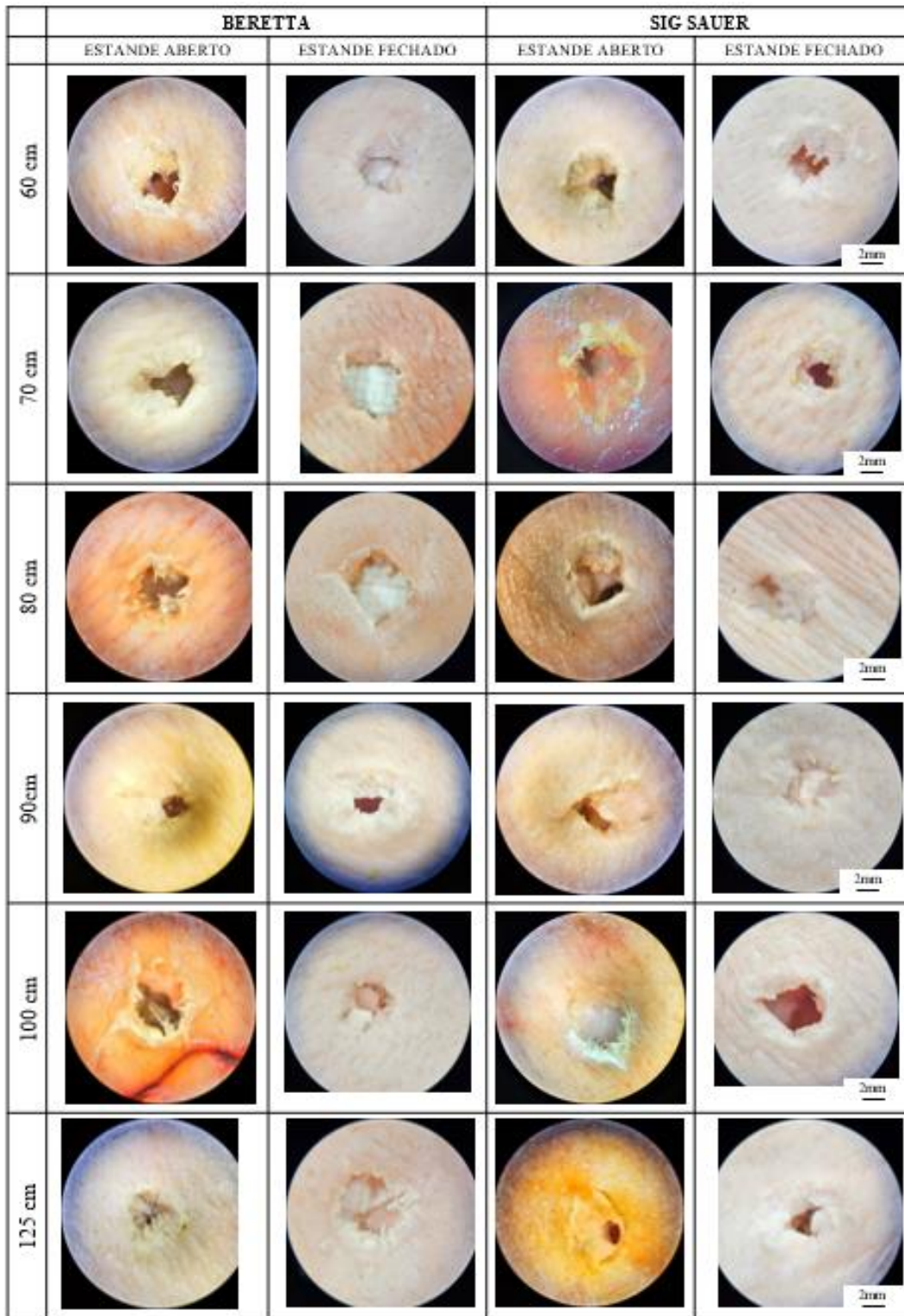
Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 70 - Imagens capturadas com uso da lupa Leica EZ4 nas distâncias de 0 a 50 cm



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 71 - Imagens capturadas com uso da lupa Leica EZ4 nas distâncias de 60 a 125 cm



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 72 - Imagens capturadas com uso da lupa Leica EZ4 na distância de 150 cm



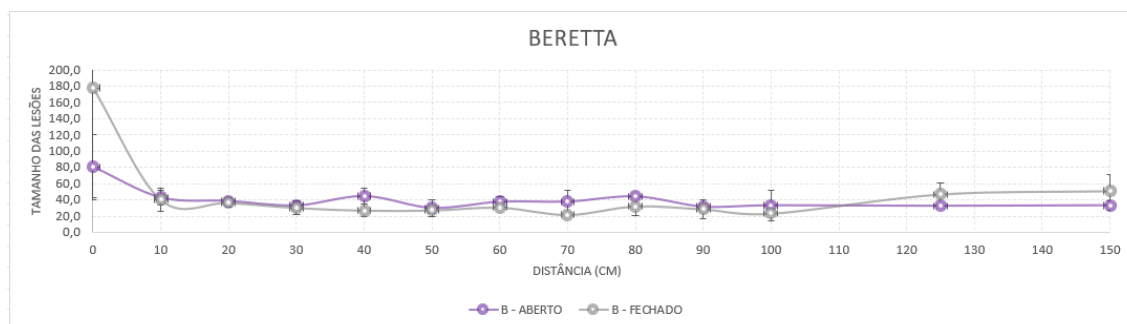
Fonte: Elaborado pela autora.

Todas as lesões entre 10 e 150 cm exibiam orla de enxugo e escoriação (efeitos primários). Tais achados são condizentes com o que a literatura traz já que em toda lesão de entrada produzida por arma de fogo são observados efeitos primários. O anel de Fisch não está presente nessas observações por óbvio, falta da orla de equimose, que é uma reação vital.

4.3.1 Comparativa dos ambientes

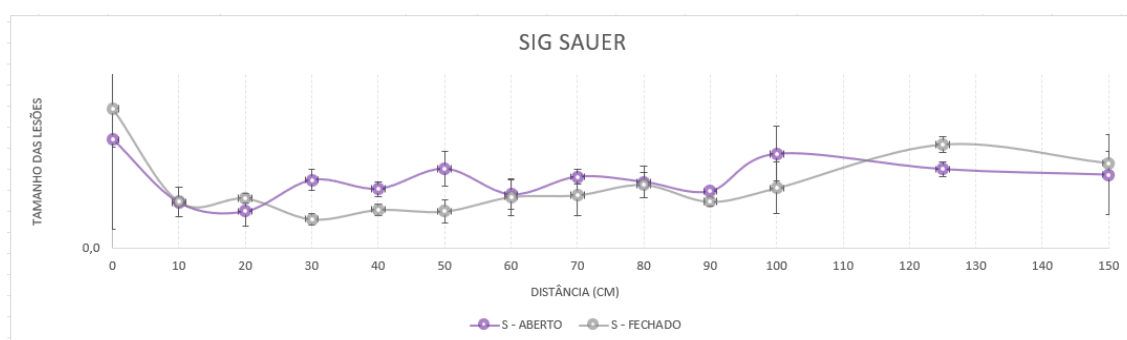
As lesões produzidas pela Beretta em ambiente externo mostraram-se ligeiramente maiores na maioria dos casos, a exceção da distância de encosto, 125 e 150 cm, como pode se observar no Gráfico 4. Já no Gráfico 5, as lesões produzidas pela arma Sig Sauer também foram maiores no ambiente externo com exceção de encosto e 125 cm. Os tamanhos das lesões entre fabricantes tiveram variância significativa entre as amostras em mais de metade das diferentes distâncias com a exceção da Beretta em ambiente aberto. O coeficiente de variação e o desvio padrão estão exibidos no item 4.3.3, reforçando o que mostram os gráficos desta seção e da seção 4.3.2.

Gráfico 4 - Gráfico relacionando as médias de tamanho das lesões produzidas pela pistola Beretta nos dois tipos de estande



Fonte: Elaborado pela autora.

Gráfico 5 - Gráfico relacionando as médias de tamanho das lesões produzidas pela pistola Sig Sauer nos dois tipos de estande



Fonte: Elaborado pela autora.

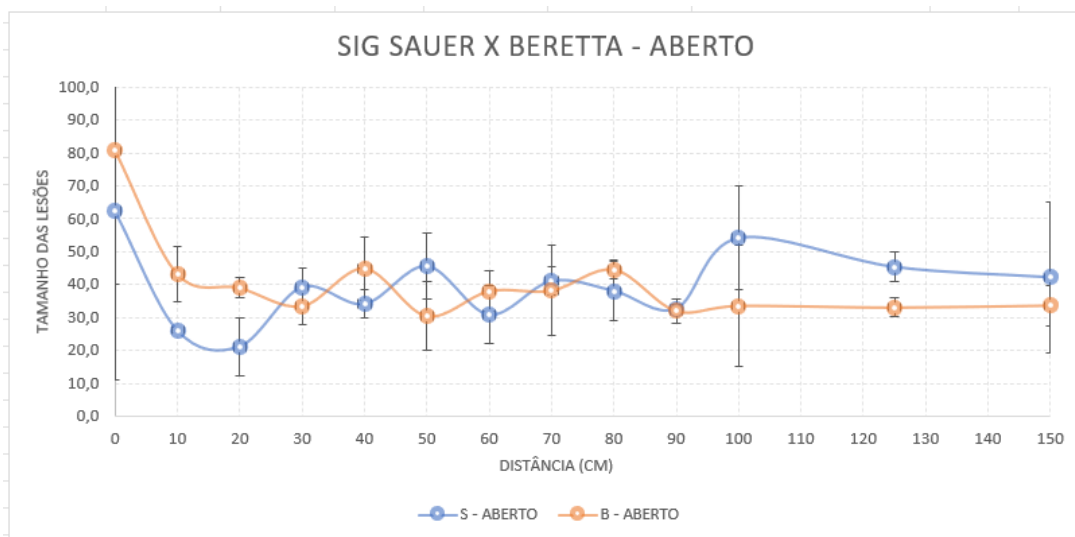
4.3.2 Comparativa das armas

Em uma comparação usando a média, foram elaborados dois gráficos (Gráfico 6 e 7) considerando a diferença entre as duas armas para ambientes iguais.

Os dados apresentados no Gráfico 6 evidenciam o tamanho das lesões geradas pelas armas Sig Sauer e Beretta em ambiente aberto. Ambas as armas demonstram uma lesão maior de encosto. O valor de desvio padrão entre todas as lesões do ambiente aberto é de 19,563, o que consideramos um valor médio.

Já no Gráfico 7 os dados mostram o tamanho das lesões geradas pelas armas Sig Sauer e Beretta em ambiente fechado. Ambas as armas também produziram lesões maiores de encosto. O valor de desvio padrão entre todas as lesões do ambiente fechado é de 41,667, o que consideramos um valor muito alto.

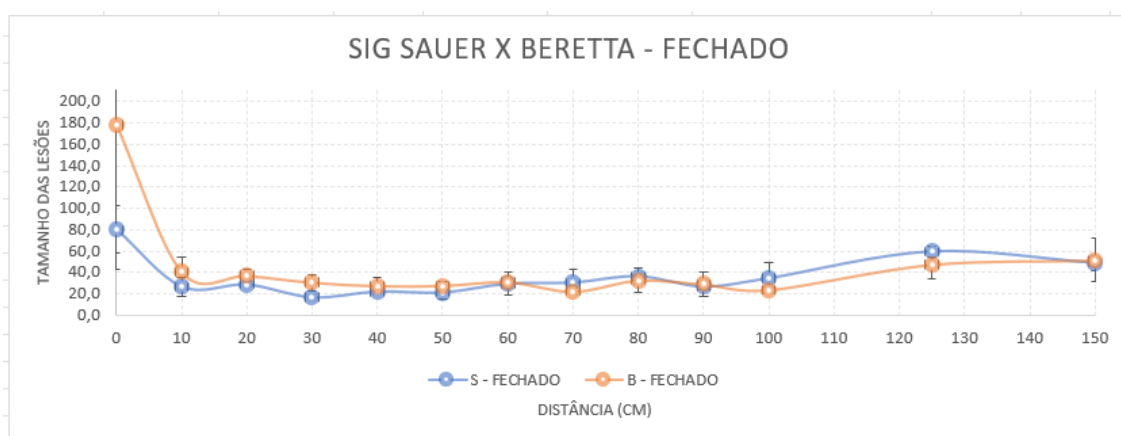
Gráfico 6 - Gráfico relacionando as médias de tamanho das lesões produzidas pelas pistolas Beretta e Sig Sauer no estande aberto



Fonte: Elaborado pela autora.

Observou-se que, em ambiente externo a Beretta teve maiores lesões até 20 cm, alternou-se o maior tamanho até 90 cm e entre 100 e 150 cm a Sig Sauer produziu maiores lesões. Foi maior a variabilidade da dos tamanhos nesse tipo de estande. Já em ambiente interno, a Beretta produziu na maior parte das distâncias uma lesão maior. Os resultados reforçam que a distância do disparo influencia diretamente a no tamanho das lesões produzidas, sendo as de encosto maiores e as demais com pequena diferença. Destaca-se a lesão de encosto produzida pela Beretta em ambiente fechado que teve mais que o dobro da extensão das demais na mesma distância.

Gráfico 7 - Gráfico relacionando as médias de tamanho das lesões produzidas pelas pistolas Beretta e Sig Sauer no estande fechado



Fonte: Elaborado pela autora.

No Gráfico 7 nota-se que, em ambiente interno a Beretta teve maiores lesões até 50 cm, demonstra empate em 60 e 90 cm, a Sig Sauer produziu maiores lesões a 70, 100 e 125 cm. Foi menor a variabilidade da dos tamanhos nesse tipo de estande. Os resultados reforçam que a distância do disparo influencia diretamente a no tamanho das lesões produzidas, sendo as de encosto maiores e as demais com pequena diferença. Destaca-se a lesão de encosto produzida pela Beretta em ambiente fechado que teve mais que o dobro da extensão das demais na mesma distância.

4.3.3 Estatísticas

O Coeficiente de Variação (CV) indica o a variabilidade de um conjunto de dados quando relacionado à média. Já o Desvio Padrão (DP) indica a dispersão dos dados em relação à média. Na Tabela 3 estão DP e CV das duas fabricantes, nos dois ambientes.

Tabela 3 - Valores de Desvio Padrão e Coeficiente de Variação das Lesões

Distância (cm)	BA		SA		BF		SF	
	DP	CV	DP	CV	DP	CV	DP	CV
0	40,30	50,00	51,00	82,40	135,10	76,00	22,00	27,50
10	8,50	19,70	0,80	3,10	13,70	33,60	8,60	32,10
20	3,10	7,90	8,80	41,30	6,10	16,50	2,70	9,50
30	5,50	16,40	6,00	15,30	7,70	24,90	3,50	20,60
40	9,70	21,60	4,20	12,40	7,30	26,30	3,30	14,70

50	10,50	34,40	10,00	22,00	4,00	14,50	6,60	30,90
60	6,10	16,20	8,70	28,20	2,70	8,80	10,70	36,00
70	13,70	35,80	4,40	10,60	2,60	11,80	11,80	38,60
80	2,90	6,50	8,80	23,20	11,40	34,80	7,20	19,70
90	3,80	12,00	1,30	4,00	11,50	39,60	2,30	8,70
100	18,40	54,80	15,70	28,90	2,40	10,20	14,80	42,80
125	2,90	8,90	4,40	9,80	13,70	29,00	4,80	8,00
150	6,20	18,40	22,80	53,80	20,40	39,70	6,90	14,00

Fonte: Elaborado pela autora.

Como é possível observar, para a Beretta em ambiente aberto (Gráfico 8-a) as distâncias apresentaram o CV de variação moderada a alta (maior que 20%) em cinco das treze distâncias observadas, nas demais distâncias foram mais consistentes, com CV variando entre 6,5 e 19,70%. Já para a Sig Sauer no ambiente aberto (Gráfico 8-b) as distâncias apresentaram o CV de variação moderada a alta em sete das treze distâncias e, ao contrário da Beretta, não se observou a consistência entre o tamanho das lesões na maioria das distâncias.

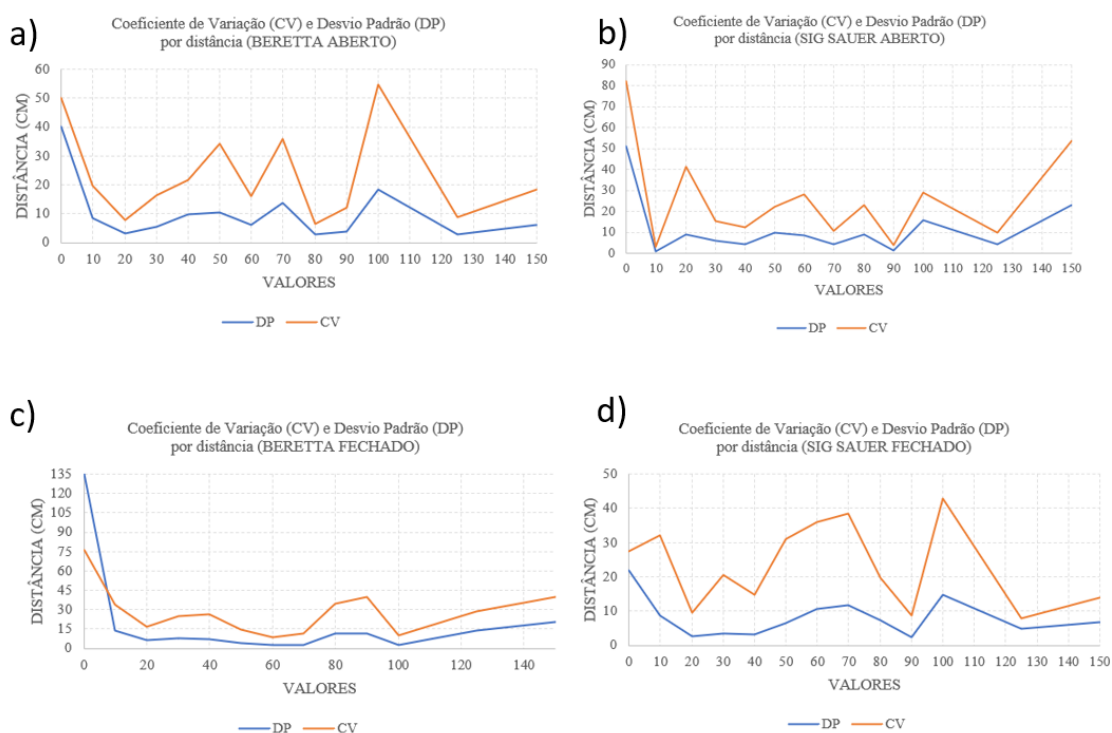
No ambiente fechado a Beretta (Gráfico 8-c), as distâncias apresentaram o CV de variação moderada a alta em oito das treze distâncias. Já a Sig Sauer (Gráfico 8-d), as distâncias apresentaram o CV de variação moderada a alta em sete das treze distâncias. Os DP, exibidos na Tabela 3, tiveram valores acima de 20% em todas as situações na distância de encosto e a 150 cm para Sig Sauer em ambiente aberto e Beretta em ambiente fechado.

Aplicado o coeficiente de Pearson para a Beretta, comparando os ambientes aberto e fechado, obtivemos o valor de 0,902924842 o que significa uma correlação positiva muito forte também chamada de perfeita, indicando que, as duas variáveis têm uma conexão linear clara e consistente. Já para a Sig Sauer, também comparando os ambientes aberto e fechado, obtivemos o valor de 0,643916869 o que significa uma correlação positiva moderada a forte, indicando que, quando uma variável aumenta a outra tende a aumentar de forma relativamente consistente.

Quando comparadas as fabricantes num mesmo ambiente, para o ambiente aberto obteve-se o valor 0,421768485, sendo uma correlação positiva moderada/fraca, significando que quando uma variável aumenta a outra tende a aumentar, mas a relação não é muito forte e nem completamente previsível. Já para o cenário das fabricantes em ambiente fechado o valor foi de 0,834522952 o que significa uma correlação positiva

forte, indicando que, as duas variáveis têm uma conexão previsível e consistente. Tais dados indicam que há uma correlação entre as matrizes analisadas indicando que, quando uma variável aumenta a outra tende a aumentar ou seja, resultando na uniformidade dos dados.

Gráfico 8 - Comparação entre os coeficientes de variação e desvio padrão- a) Beretta ambiente aberto; b) Sig Sauer ambiente aberto; c) Beretta ambiente fechado; d) Sig Sauer Ambiente Fechado



Fonte: Elaborado pela autora.

Já na análise Anova (*Analysis of Variance*) comparando as médias entre fabricantes num mesmo ambiente ou ambientes com diferentes fabricantes existem diferenças estatisticamente significativas entre elas. Para todas as análises não há evidências para afirmar que as médias dos grupos são estatisticamente diferentes o que significa que as variações podem ter ocorrido por acaso. Todos os valores de p foram maiores que 0,05, confirmando que a análise anova não encontrou evidências suficientes para afirmar que um grupo de desempenho diferente do outro.

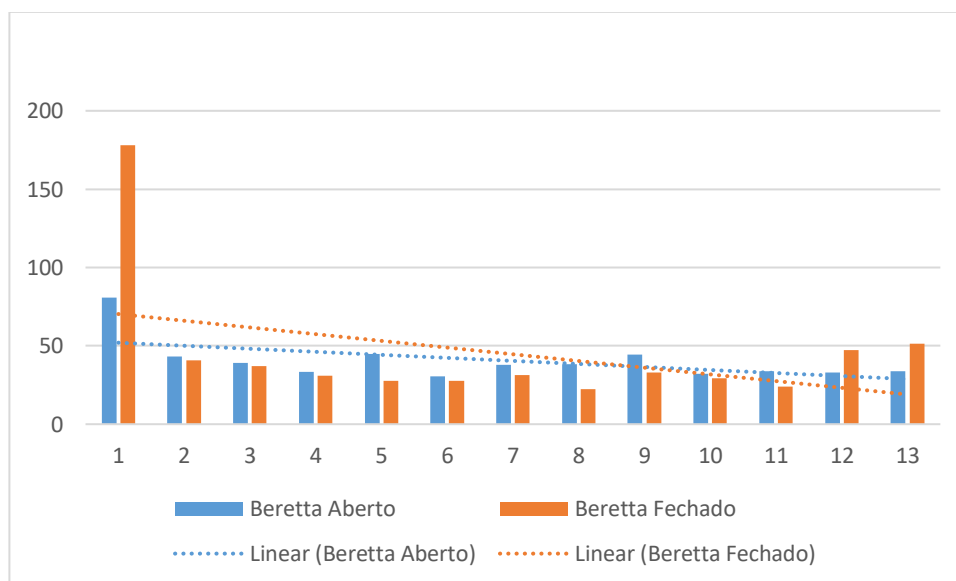
Os valores entre Beretta e Sig Sauer em ambiente aberto o valor de p 0,8579 e de F tem valor de 0,0328, em ambiente fechado o valor de p 0,4740 e de F 0,5293. Já entre

os dois ambientes para Beretta o valor de p foi de 0,7263 e de F 0,1254 e para a Sig Sauer o valor de p foi 0,5050 e de F 0,4580.

Quando comparados todos os cenários para as lesões simuladas (os dois ambientes e as duas fabricantes) obteve-se que a variabilidade entre as condições foi moderada, a confiabilidade para a análise comparativa também foi moderada e a sensibilidade a variáveis externas também foram moderadas.

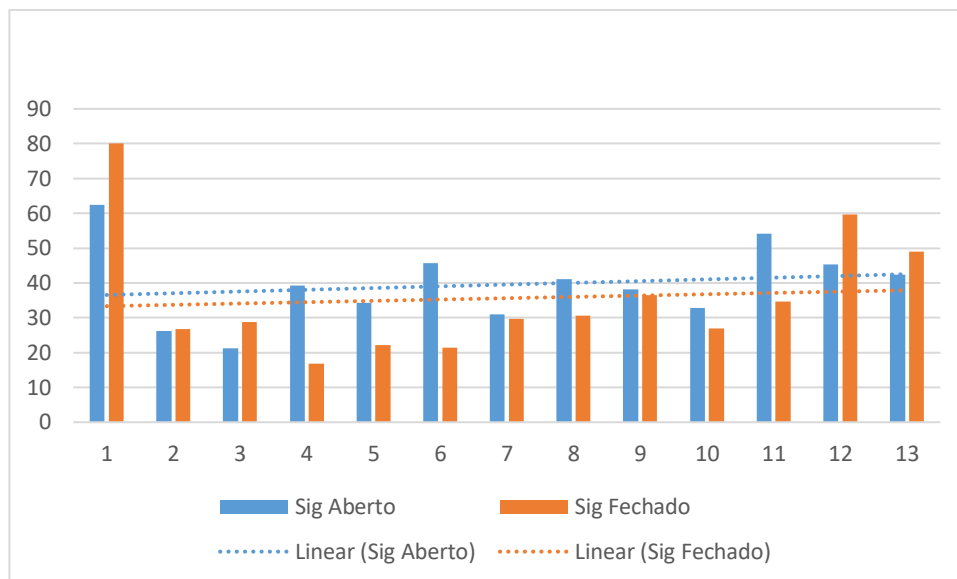
Nos gráficos de linha de tendência observa-se que os valores majoritariamente diminuem conforme a distância aumenta, independente do cenário utilizado. Tais observações estão dispostas no Gráfico 9 para Beretta nos dois ambientes, no Gráfico 10 o comportamento da Sig Sauer. Já no Gráfico 11 estão as comparações de Beretta e Sig Sauer em ambiente aberto e o Gráfico 12 em ambiente fechado.

Gráfico 9 – Linha de tendência do efeito da Beretta nos dois ambientes para a produção das lesões



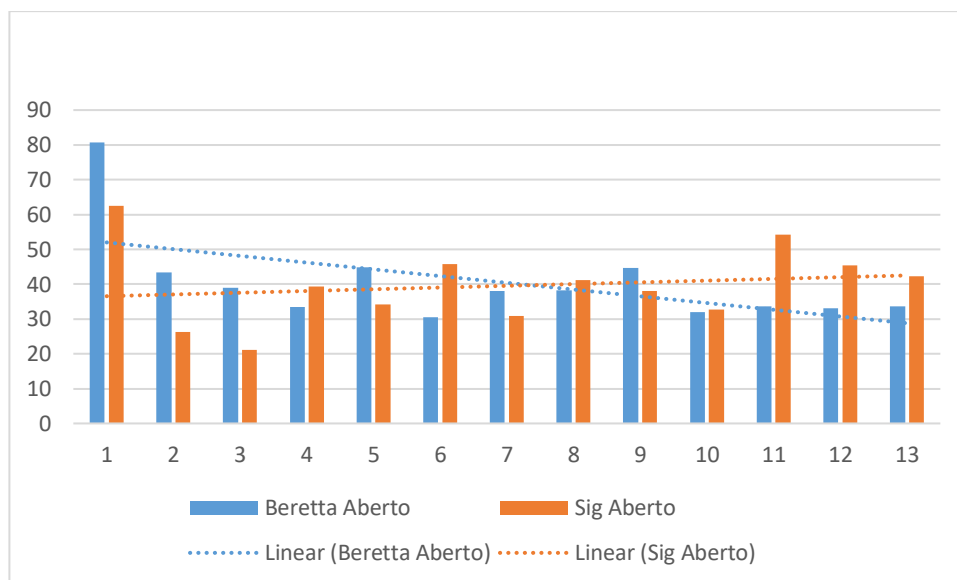
Fonte: Elaborado pela autora.

Gráfico 10 – Linha de tendência do efeito da Sig Sauer nos dois ambientes para a produção das lesões



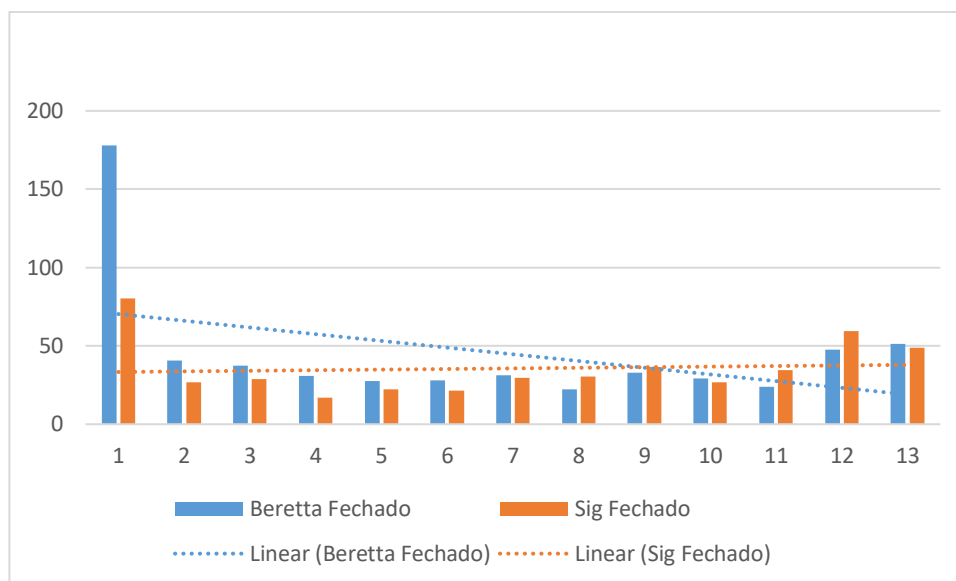
Fonte: Elaborado pela autora.

Gráfico 11 - Linha de tendência do efeito do ambiente aberto para a produção das lesões



Fonte: Elaborado pela autora.

Gráfico 12 - Linha de tendência do efeito do ambiente fechado para a produção das lesões



4.4 Análises dos vestígios nos suportes experimentados

Tal como descrito na etapa VI da metodologia a contagem de vestígios foi dividida em dois momentos, um para cada tipo de suporte. Para as cartolinas as fotos foram diretamente submetidas ao software ImageJ, retirados os resíduos e realizada a contagem automática. Já nas peles suínas foi necessário o destaque manual dos pontos de interesse pois a imagem tinha pouco contraste com relação aos vestígios, não sendo possível a análise do ImageJ diretamente.

Os dados foram organizados levando em conta a triplicata de cada distância das duas fabricantes e nos dois tipos de estandes diferentes. Ao todo foram 312 suportes, 156 cartolinas e 156 peles suínas.

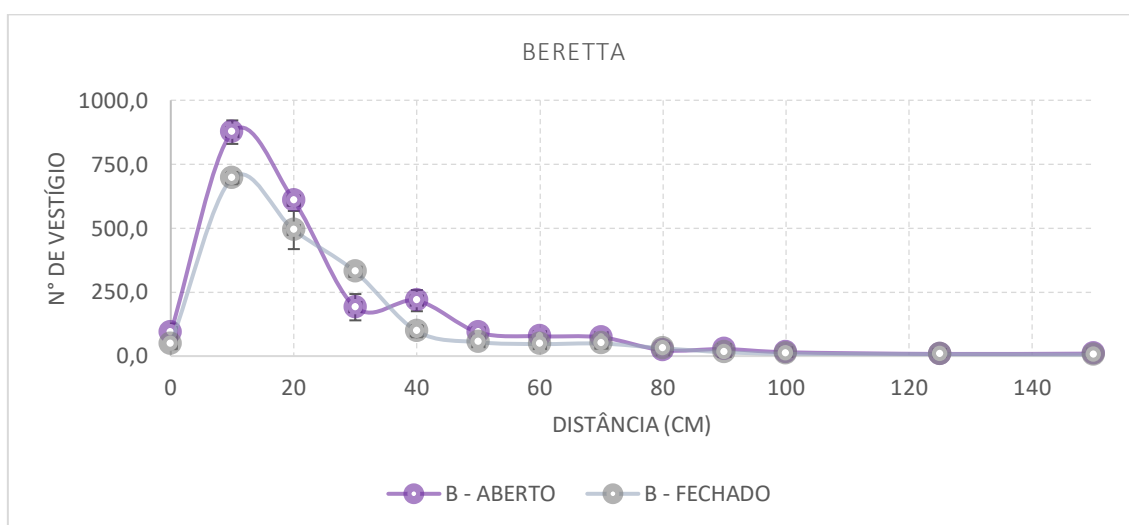
4.4.1 Cartolinas

Os aspectos do residuograma foram compatíveis com os descritos por Ferro *et al.* (2020). A descrição dos aspectos macroscópicos observados está detalhada no item 4.3 nos quadros 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 e 10.

4.4.1.1 Comparativa ambientes

Foi observado a influência da distância do disparo na quantidade de vestígios, com maior concentração entre 10 cm e 30 cm. As diferenças entre armas nos dois ambientes destacam características específicas, como a maior variabilidade da Sig Sauer em curtas distâncias e a maior consistência da Beretta.

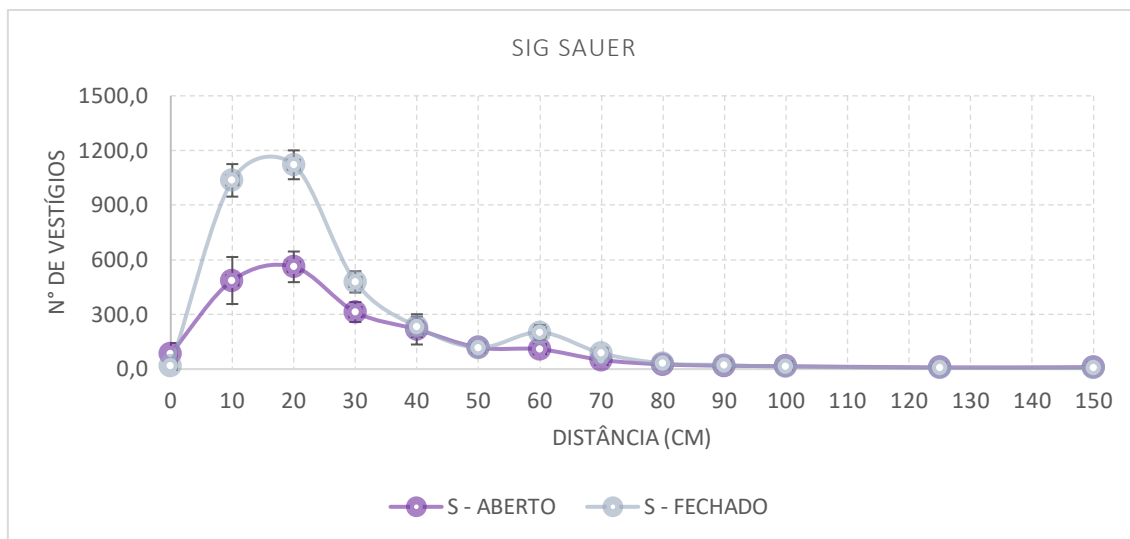
Gráfico 13 - Comparativo entre ambientes da média de vestígios Beretta



Fonte: Elaborado pela autora.

No Gráfico 13, está disposto um comparativo da contagem de vestígios produzidos pela arma Beretta em ambos os ambientes. Mostra-se uma maior concentração nas distâncias 10 e 20 cm, com destaque para o ambiente de estande aberto que exibe uma maior quantidade de vestígios contados chegando a quase 1000. A partir dos 30 cm há uma redução na quantidade de vestígios encontrados que chegará em valores baixos ou nulos além de 60 cm.

Gráfico 14 - Comparativo entre ambientes da média de vestígios Sig Sauer



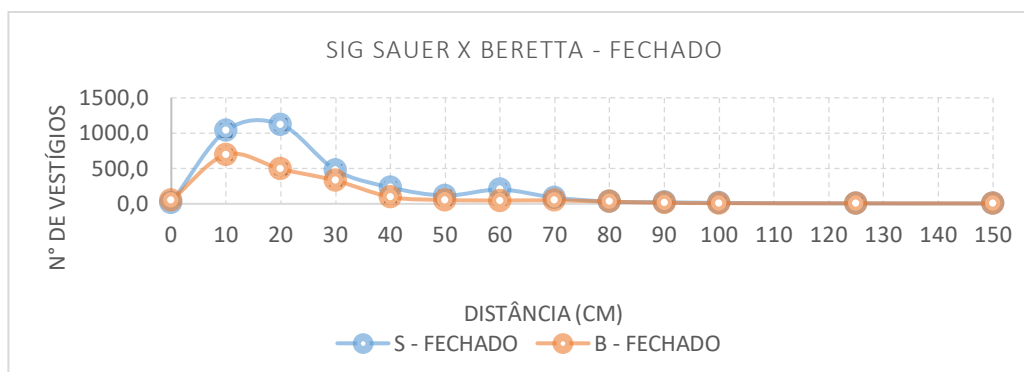
Fonte: Elaborado pela autora.

O Gráfico 14 compara as médias de vestígios produzidos pela arma Sig Sauer nos ambientes aberto e fechado. Para ambas as condições, observou-se maior número de vestígios em distâncias curtas entre 10 e 30 cm. Fora observado um maior número nas amostras do estande fechado, o contrário da Beretta. Não se pode esclarecer o motivo dessa discrepância, sendo necessários estudos mais detalhados sobre tal diferenças. O número máximo foi de 1218 em e o menor foi de 3 em ambiente interno, já em ambiente externo o máximo foi de 663 e o mínimo de 4. Tal como observado com a Beretta, após os 60 cm os vestígios foram baixos, quase nulos.

4.4.1.2 Comparativa das armas

Assim como na comparação entre ambientes, foi possível observar que a variação da distância do disparo influencia na quantidade de vestígios, com maior concentração entre 10 cm a 30 cm. As diferenças entre armas em ambientes iguais destacam características específicas de cada uma das fabricantes como é possível visualizar nos Gráficos 15 e 16.

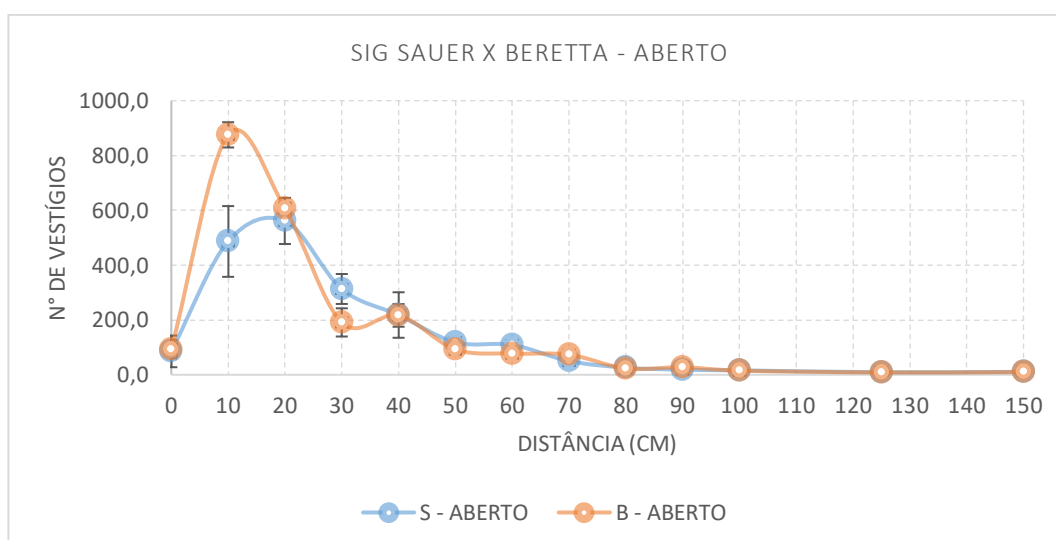
Gráfico 15 – Comparativo entre fabricantes, vestígios observáveis em cartolina em estande fechado



Fonte: Elaborado pela autora.

Os dados apresentados no Gráfico 15 evidenciam a quantidade de vestígios gerados pelas armas Sig Sauer e Beretta em ambiente fechado. A maior concentração de vestígios se deu em distâncias curtas (0–30 cm) e, à medida que a distância aumenta, o número de vestígios diminuiu. Nota-se um destaque da Sig Sauer nas distâncias de 10 e 20 cm e a constância, quase empate das fabricantes nas demais distâncias. A estabilização do número de vestígios a partir dos 40 cm demonstra que a Beretta apresenta maior precisão e repetibilidade na produção média das amostras.

Gráfico 16 - Comparativo entre fabricantes, vestígios observáveis em cartolina em estande aberto



Fonte: Elaborado pela autora.

No Gráfico 16 os dados indicam que ambas as armas analisadas apresentam maior número de vestígios na faixa de 10 a 20 cm. Diferente do que ocorreu em ambiente

interno, observa-se que a Beretta produziu uma quantidade superior de vestígios nas distâncias iniciais, enquanto a Sig Sauer apresenta números inferiores, mas com maior consistência em distâncias próximas.

A partir de 30 cm, observa-se uma redução acentuada no número de vestígios para ambas as armas, com estabilização em valores baixos e constantes além de 40 cm. Essa tendência é acompanhada por diferenças na variabilidade: as barras de erro indicam maior dispersão nos dados da Sig Sauer em distâncias curtas, sugerindo maior variabilidade na produção de vestígios, enquanto a Beretta demonstra maior precisão, refletida em uma menor variabilidade, porém com uma queda mais acentuada na quantidade de vestígios.

A Beretta produziu mais vestígios em ambiente aberto do que no fechado. Já a Sig Sauer foi o contrário. Como já mencionado, os motivos para tais diferenças devem ser explorados em outros experimentos. Ambas as situações tiveram quedas a partir dos 40 cm, mantendo o número de vestígios quase estável.

4.4.1.3 Estatísticas

A variabilidade do residuográfico experimentado na cartolina e a dispersão em relação à média está disposta na Tabela 4 para as duas fabricantes, nos dois ambientes.

Tabela 4 - Valores de Desvio Padrão e Coeficiente de Variação dos resíduos nas cartolinas

Distância (cm)	BA		SA		BF		SF	
	DP	CV	DP	CV	DP	CV	DP	CV
0	33,48	35,74	57,76	67,69	21,12	44,00	7,48	44,02
10	45,99	5,25	129,06	26,54	24,07	3,46	89,33	8,62
20	20,27	3,34	84,12	14,99	74,50	15,12	79,20	7,06
30	51,40	26,91	54,63	17,45	19,60	5,95	58,48	12,22
40	41,41	19,11	83,00	38,07	23,75	24,40	55,62	23,94
50	18,06	19,56	11,09	9,37	12,47	22,95	7,41	6,30
60	7,41	9,58	12,03	11,03	7,48	15,92	40,43	20,05
70	10,27	14,01	12,83	25,66	20,05	40,92	31,03	35,66
80	9,90	43,04	4,97	19,10	4,50	14,66	6,85	21,62
90	6,85	24,75	10,87	59,31	9,20	61,34	5,91	26,45
100	0,82	5,44	5,35	33,46	6,98	77,51	5,56	41,68
125	0,47	5,66	4,11	44,03	2,83	40,41	1,25	19,69
150	3,30	34,14	1,89	17,68	0,47	8,84	3,09	54,55

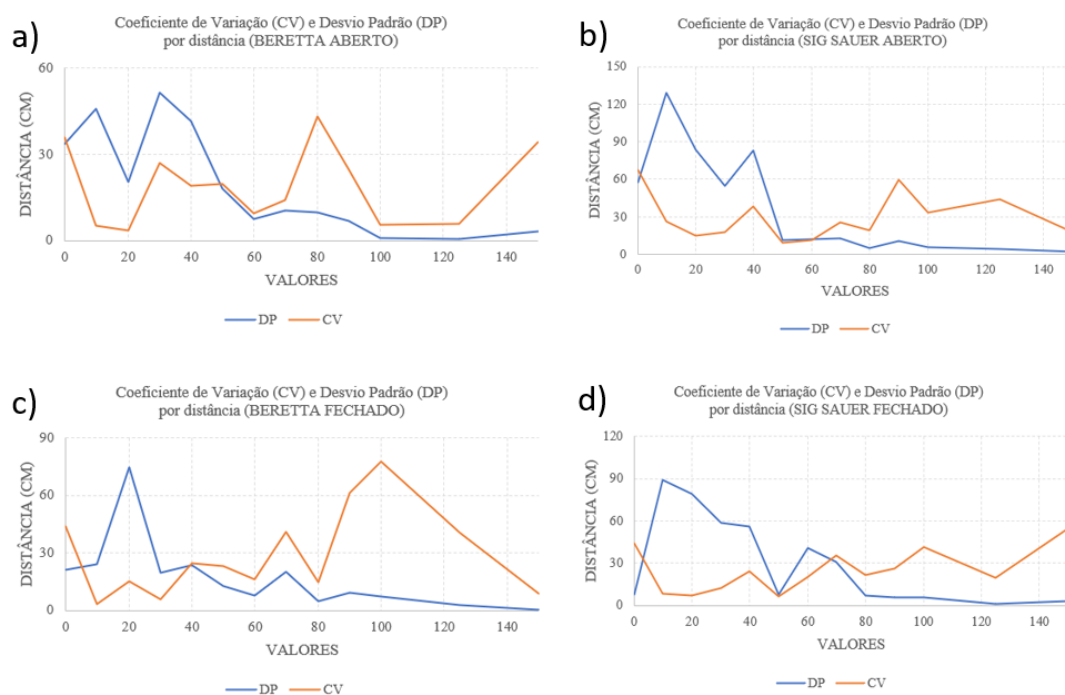
Fonte: Elaborado pela autora.

Como ilustrado, para a Beretta em ambiente aberto (Gráfico 17-a) as distâncias apresentaram o CV de variação moderada a alta (maior que 20%) em cinco das treze distâncias observadas, nas demais distâncias foram mais consistentes, com CV variando entre 3,34 e 19,56%. Já para a Sig Sauer no ambiente aberto (Gráfico 17-b) as distâncias apresentaram o CV de variação moderada a alta em sete das treze distâncias e, ao contrário da Beretta, não se observou a consistência entre o tamanho das lesões na maioria das distâncias.

No ambiente fechado a Beretta (Gráfico 17-c), as distâncias apresentaram o CV de variação moderada a alta em sete das treze distâncias. Já a Sig Sauer (Gráfico 17-d), as distâncias apresentaram o CV de variação moderada a alta em oito das treze distâncias. Os DP, exibidos na Tabela 4, diferente do que aconteceu com relação às lesões, tiveram valores acima de 20% em ambiente aberto para Beretta e para a Sig Sauer entre 0 e 40 cm. Já em ambiente fechado, para a Beretta entre as distâncias 0 a 20 cm e na distância 40 cm e para a Sig Sauer entre 10 e 40 cm e nas distâncias de 60 e 70 cm o DP era maior que 20%. Tais aspectos demonstram que, entre as triplicatas houve uma dispersão de dados alta. Os fatores que originaram essa dispersão devem ser experimentados para que se investigue sua causa.

Aplicado o coeficiente de Pearson para todos os cenários obtivamos correlação positiva muito forte também chamada de perfeita, indicando que, as duas variáveis têm uma conexão linear clara e consistente. Os números foram de 0,966442902 para Beretta nos dois ambientes e 0,979953181 para Sig Sauer. Já entre fabricantes para ambiente aberto foi de 0,921840191 e no ambiente fechado 0,963050565. Tais estatísticas reforçam que essa correlação entre as variáveis prevê padrões gerais para esses cenários.

Gráfico 17 - Comparação entre os coeficientes de variação e desvio padrão- a) Beretta ambiente aberto; b) Sig Sauer ambiente aberto; c) Beretta ambiente fechado; d) Sig Sauer Ambiente Fechado



Fonte: Elaborado pela autora.

Para todas as análises Anova não há evidências para afirmar que as médias dos grupos são estatisticamente diferentes, o que significa que as variações podem ter ocorrido por acaso. Todos os valores de p foram maiores que 0,05, confirmando que a análise anova não encontrou evidências suficientes para afirmar que um grupo de desempenho diferente do outro.

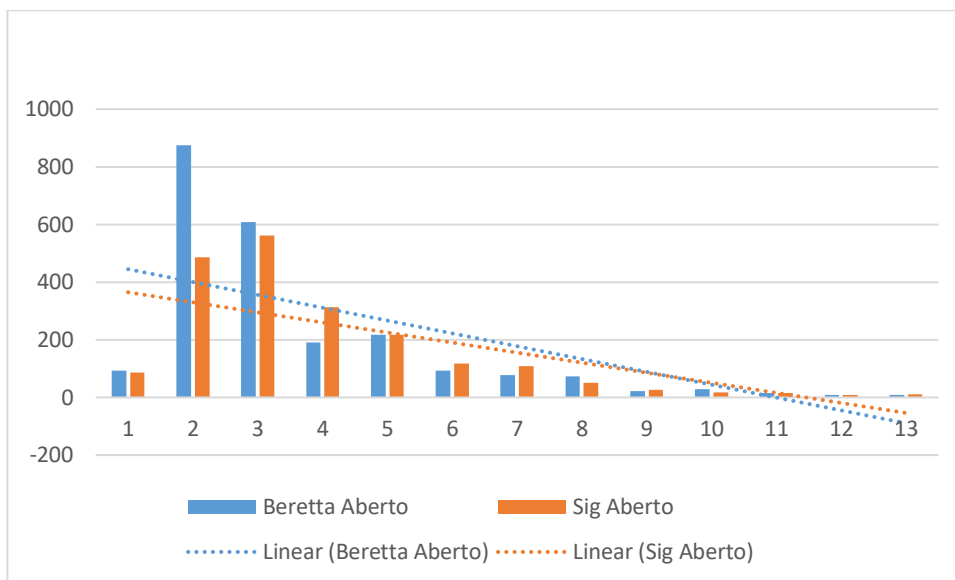
Os valores entre Beretta e Sig Sauer em ambiente aberto o valor de p 0,8065 e de F tem valor de 0,0613, em ambiente fechado o valor de p 0,3632 e de F 0,8591. Já entre os dois ambientes para Beretta o valor de p foi de 0,7318 e de F 0,1202 e para a Sig Sauer o valor de p foi 0,3932 e de F 0,7560.

Quando comparados todos os cenários para o residuográficos das cartolinas (os dois ambientes e as duas fabricantes) obteve-se que a variabilidade entre as condições foi baixa, a confiabilidade para a análise comparativa também foi alta e a sensibilidade a variáveis externas foram baixas.

Nos gráficos de linha de tendência observa-se que os valores majoritariamente diminuem conforme a distância aumenta, independente do cenário utilizado. Tais observações estão dispostas no Gráfico 18 para Beretta nos dois ambientes, no Gráfico

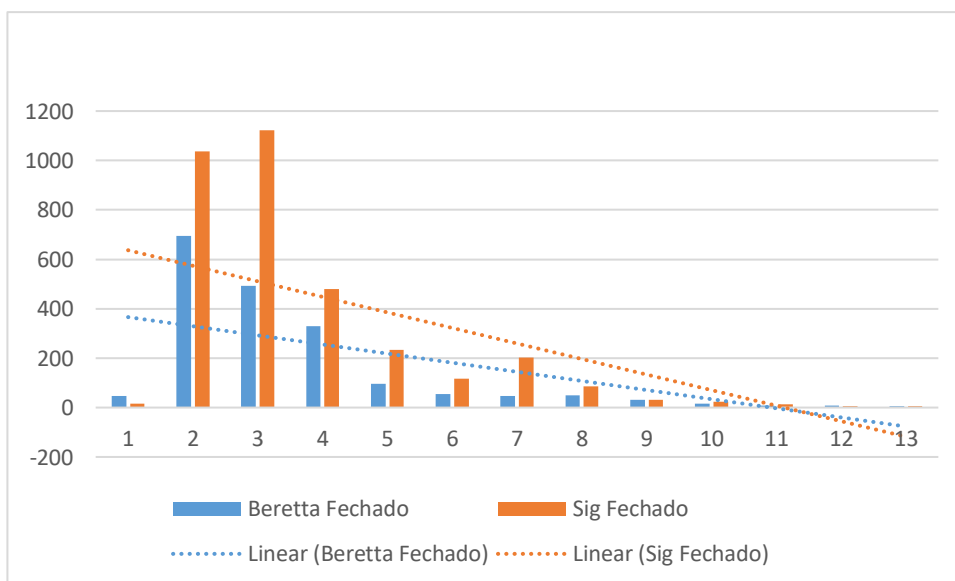
19 o comportamento da Sig Sauer. Já no Gráfico 20 estão as comparações de Beretta e Sig Sauer em ambiente aberto e o Gráfico 21 em ambiente fechado.

Gráfico 18 - Linha de tendência do efeito das duas fabricantes para a produção do residuo gráfico em cartolina em ambiente aberto



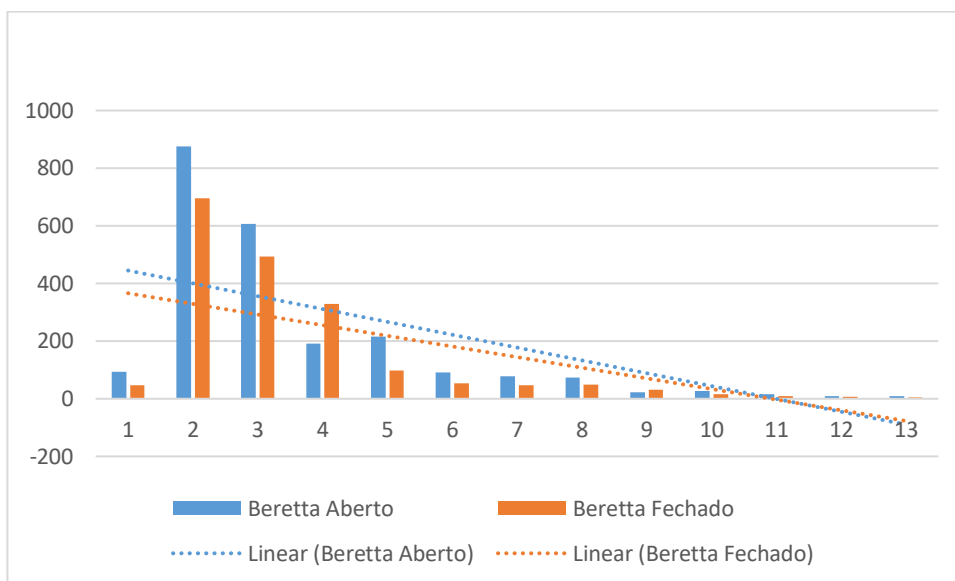
Fonte: Elaborado pela autora.

Gráfico 19 - Linha de tendência do efeito das duas fabricantes para a produção do residuo gráfico em cartolina no ambiente fechado



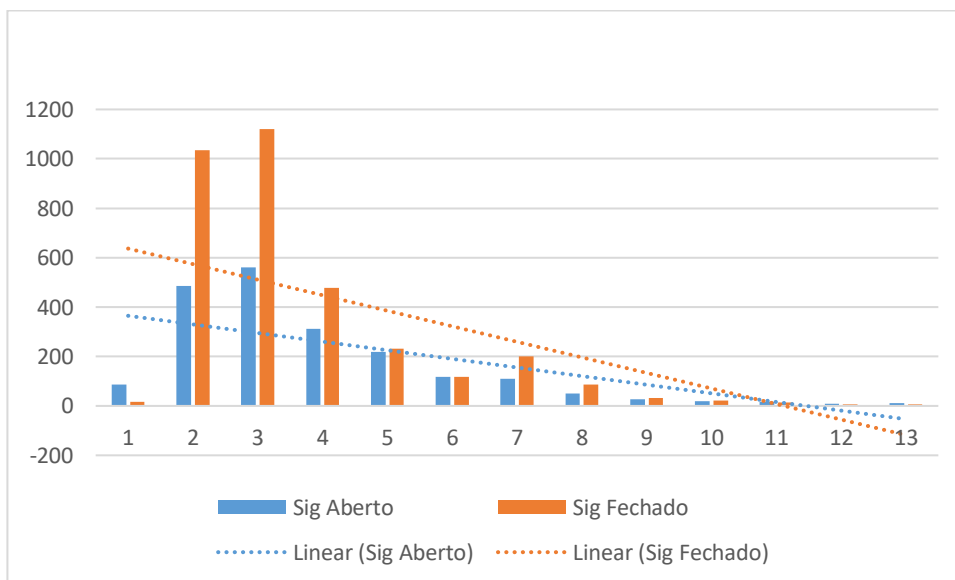
Fonte: Elaborado pela autora.

Gráfico 20 - Linha de tendência do efeito da Beretta para a produção do residuográfico na cartolina nos dois ambientes



Fonte: Elaborado pela autora.

Gráfico 21 - Linha de tendência do efeito da Sig Sauer para a produção do residuográfico na cartolina nos dois ambientes



Fonte: Elaborado pela autora.

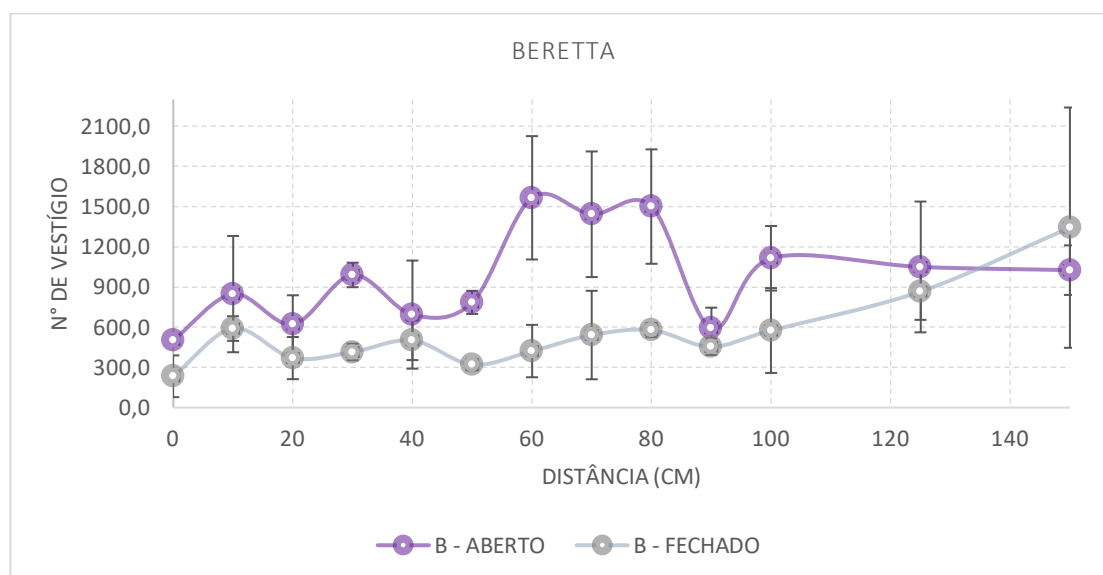
4.4.2 Peles Suínas

4.4.2.1 Comparativa de ambientes

Diferente do que foi observado nas cartolinas, os vestígios das peles não se mostraram uma escala decrescente. Nos gráficos 14 e 15 pode-se analisar que, ao contrário do outro suporte, o maior número de vestígios se deu em ambiente aberto, entre 60 e 80 cm, já no ambiente fechado entre 125 e 150 cm. Como supracitado, assume-se que a falta de uniformidade nas peles pode ter contribuído para tais números já que se optou por marcar todas as diferentes tonalidades presentes nas peças analisadas.

No Gráfico 14, há o comparativo da contagem de vestígios produzidos pela arma Beretta em estande interno e externo. A maior concentração se deu entre 60 e 80 cm. O número de vestígios contados variou entre 76 e 2216. O número foi maior em ambiente externo que em ambiente interno em todas as distâncias com a exceção de 150 cm.

Gráfico 22 - Comparativo entre ambientes da média de vestígios Beretta



Fonte: Elaborado pela autora.

No Gráfico 15, está disposto um comparativo da contagem de vestígios produzidos pela arma Sig Sauer em ambos os ambientes. A maior concentração se deu

entre 30 e 150 cm. O número de vestígios contados variou entre 325 e 8024. O número foi expressivamente maior em ambiente externo que em ambiente interno.

Gráfico 23 - Comparativo entre ambientes da média de vestígios Sig Sauer

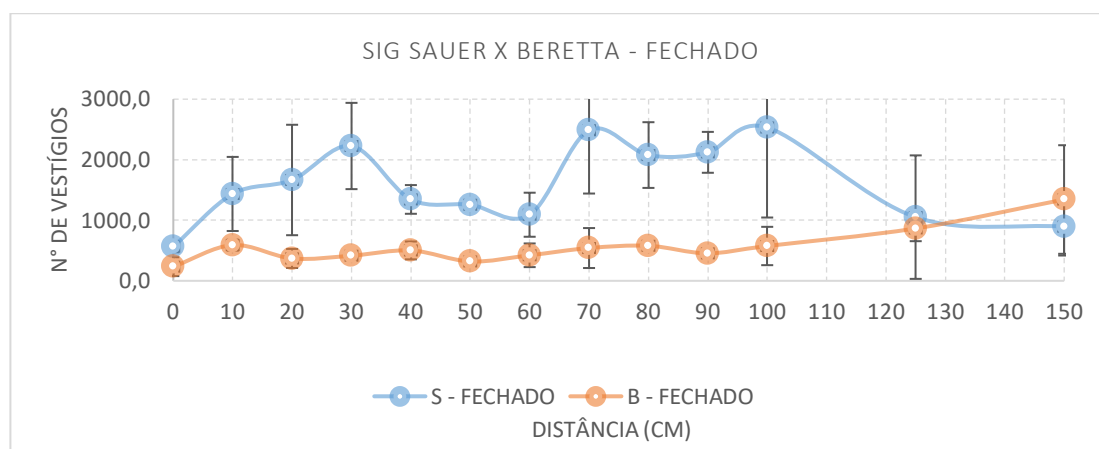


Fonte: Elaborado pela autora.

4.4.2.2 Comparativa das armas

Assim como na comparação entre ambientes, foi possível observar que a variação da distância do não foi o fator da alteração na quantidade de vestígios. As diferenças entre armas em ambientes iguais destacam características específicas de cada uma das fabricantes como é possível visualizar nos Gráficos 16 e 17.

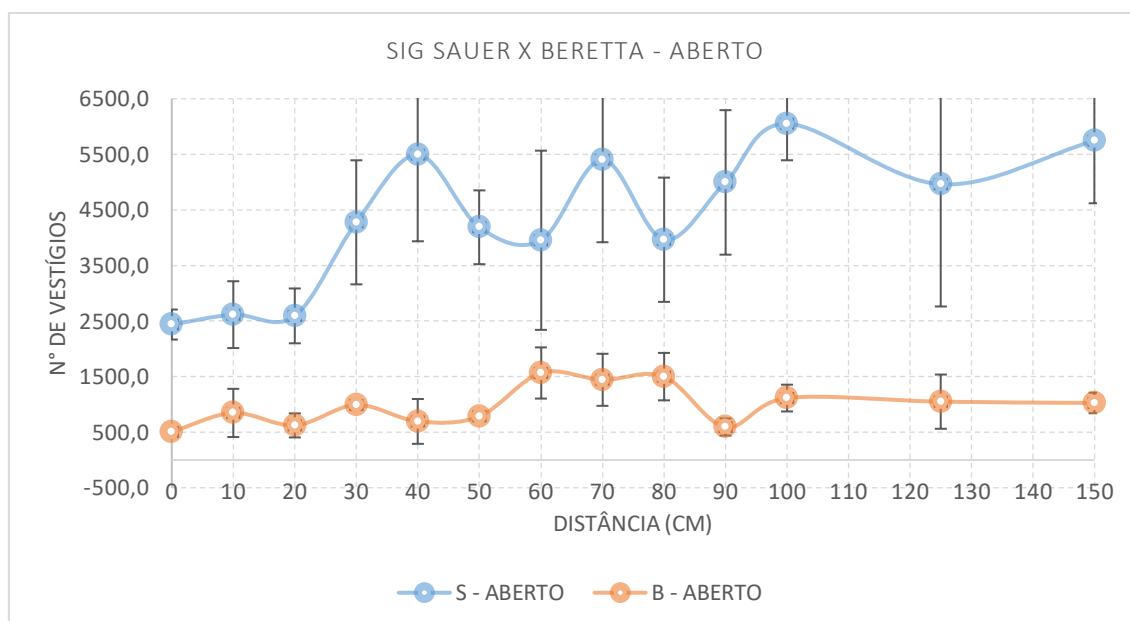
Gráfico 24 – Comparativo entre fabricantes de vestígios observáveis em pele suína no estande fechado



Fonte: Elaborado pela autora.

Os dados apresentados no Gráfico 16 evidenciam a quantidade de vestígios gerados pelas armas Sig Sauer e Beretta em ambiente fechado. Há um destaque da Sig Sauer em todas as distâncias observadas. Uma maior concentração se deu nas distâncias de 30 e entre 70 e 100cm. Já a Beretta se mostrou mais estável quanto aos vestígios observados com crescimento apenas nas duas últimas distâncias marco.

Gráfico 25 - Comparativo entre fabricantes de vestígios observáveis em pele suína no estande aberto



Fonte: Elaborado pela autora.

No Gráfico 17 os dados indicam que ambas as armas analisadas apresentam maior número de vestígios a partir de 40 cm. Tal como ocorreu em ambiente interno, a Sig Sauer produziu uma quantidade superior de vestígios em todas as distâncias observadas e com maior alteração em cada marco. Já a Beretta se mostrou mais estável, com uma crescente entre 60 e 80 cm que foi exceção na observação.

4.4.2.3 Estatísticas

A variabilidade do residuográfico experimentado nas peles e a dispersão em relação à média está disposta na Tabela 5 para as duas fabricantes, nos dois ambientes.

Tabela 5 - Valores de Desvio Padrão e Coeficiente de Variação dos resíduos nas peles suínas

Distância (cm)	BA		SA		BF		SF	
	DP	CV	DP	CV	DP	CV	DP	CV
0	26,90	5,30	270,10	11,10	155,90	66,70	93,90	16,60
10	433,80	51,20	601,40	23,00	91,70	15,60	612,00	42,70
20	215,90	34,70	493,60	19,00	157,20	42,60	912,00	54,80
30	91,40	9,20	1116,50	26,10	62,00	15,00	712,60	32,00
40	403,40	58,20	1558,00	28,40	147,20	29,30	237,00	17,60
50	86,30	11,00	664,30	15,90	42,90	13,40	37,40	3,00
60	460,30	29,40	1612,60	40,80	195,50	46,40	363,80	33,30
70	468,70	32,50	1485,10	27,50	330,20	61,00	1045,70	42,00
80	427,00	28,50	1118,10	28,20	53,00	9,20	542,70	26,10
90	153,00	25,80	1300,40	26,00	61,40	13,50	337,90	15,90
100	240,80	21,60	657,30	10,90	316,60	55,10	1486,90	58,70
125	487,90	46,50	2200,10	44,30	210,60	24,30	1019,90	97,00
150	184,90	18,00	1125,10	19,60	896,60	66,80	476,80	53,30

Fonte: Elaborado pela autora.

Como ilustrado, para a Beretta em ambiente aberto (Gráfico 18-a) as distâncias apresentaram o CV de variação moderada a alta (maior que 20%) em nove das treze distâncias observadas. Já para a Sig Sauer no ambiente aberto (Gráfico 18-b) as distâncias apresentaram o CV de variação moderada a alta em oito das treze distâncias.

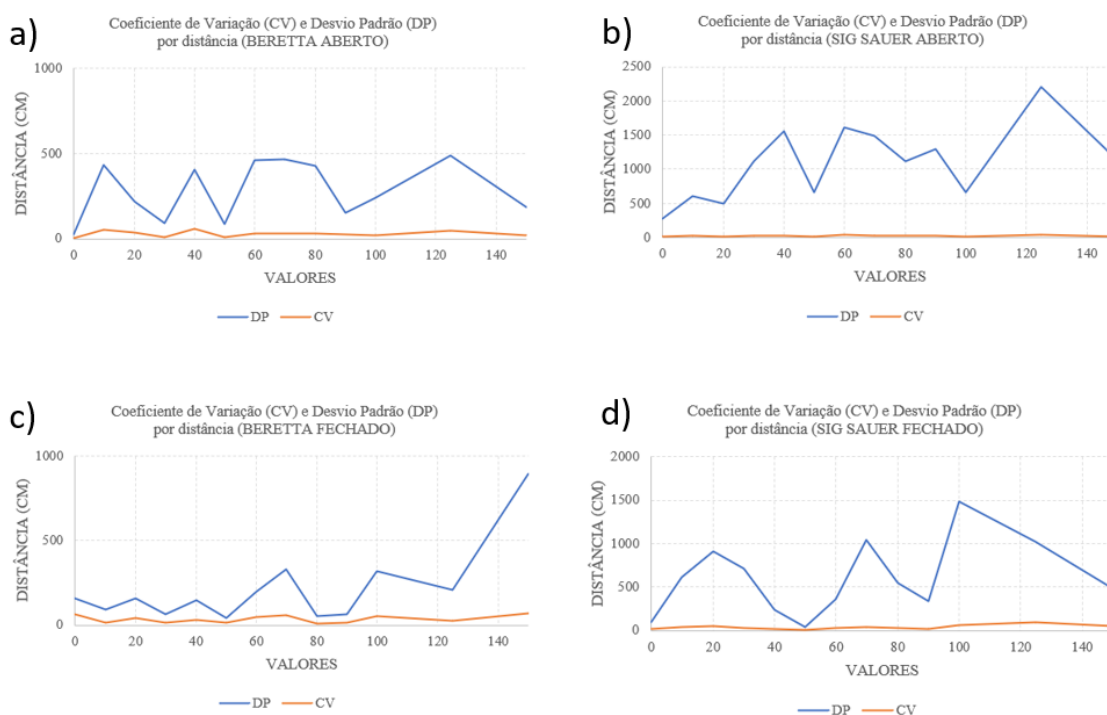
No ambiente fechado a Beretta (Gráfico 18-c), as distâncias apresentaram o CV de variação moderada a alta em oito das treze distâncias. Já a Sig Sauer (Gráfico 18-d), as distâncias apresentaram o CV de variação moderada a alta em nove das treze distâncias.

Os DP, exibidos na Tabela 5, diferente dos dois cenários anteriores, tiveram valores acima de 20% em todas as distâncias, para as duas fabricantes e dois ambientes. Assume-se que tais discrepâncias se devam à falta de uniformidade do suporte (pele suína).

Aplicado o coeficiente de Pearson para a Beretta e Sig Sauer, comparando os ambientes aberto e fechado, obtivemos o valor de 0,251536125 e 0,363596773, respectivamente, o que significa uma correlação positiva fraca indicando que, quando uma variável aumenta a outra tende a aumentar, mas isso não é forte ou previsível que indique uma conexão clara.

Quando comparadas as fabricantes num mesmo ambiente, para o ambiente aberto obteve-se o valor 0,309663734, sendo uma correlação positiva fraca assim como a comparação das fabricantes entre ambientes. Já para o cenário das fabricantes entre ambientes o valor foi de -0,171354469 indicando uma correlação negativa fraca o que significa que, quando uma variável aumenta a outra tende a diminuir e, assim como os demais cenários essa relação não é significativa ou consistente o suficiente para demonstrar uma relação evidente. Tais dados reforçam as conclusões que o residuográfico nas peles suínas não tem dados de correlação confiáveis.

Gráfico 26 - Comparação entre os coeficientes de variação e desvio padrão- a) Beretta ambiente aberto; b) Sig Sauer ambiente aberto; c) Beretta ambiente fechado; d) Sig Sauer Ambiente Fechado



Fonte: Elaborado pela autora.

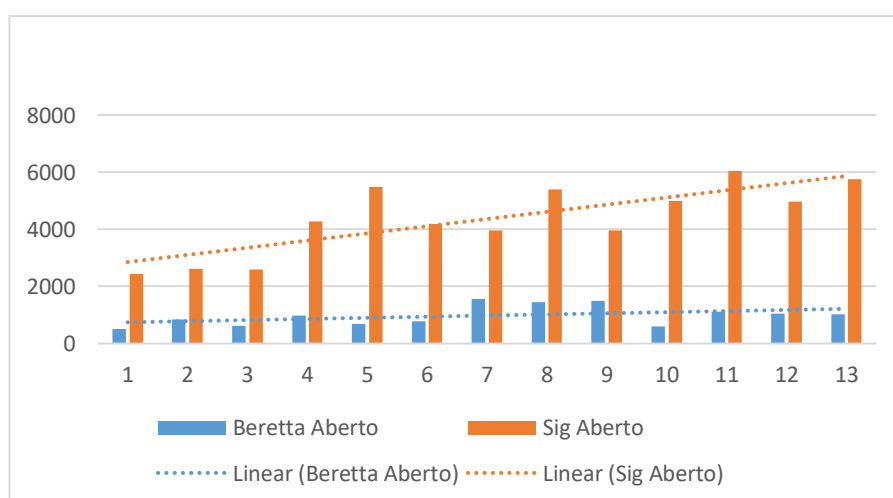
As análises Anova mostraram que há uma diferença estatisticamente significativa entre os grupos analisados. Todos os valores de p foram muito menores que 0,05, confirmando que os dados são significativamente diferentes conforme variam as distâncias.

Os valores entre Beretta e Sig Sauer em ambiente aberto o valor de p 0,000000125 e de F tem valor de 90,78, em ambiente fechado o valor de p 0,0000161 e de F 28,90. Já entre os dois ambientes para Beretta o valor de p foi de 0,0024 e de F 11,47 e para a Sig Sauer o valor de p foi 0,000000197 e de F 51,73.

Quando comparados todos os cenários para o residuográfico das peles (os dois ambientes e as duas fabricantes) obteve-se que a variabilidade entre as condições foi alta, a confiabilidade para a análise comparativa foi baixa para a comparação direta e a sensibilidade a variáveis externas foi alta.

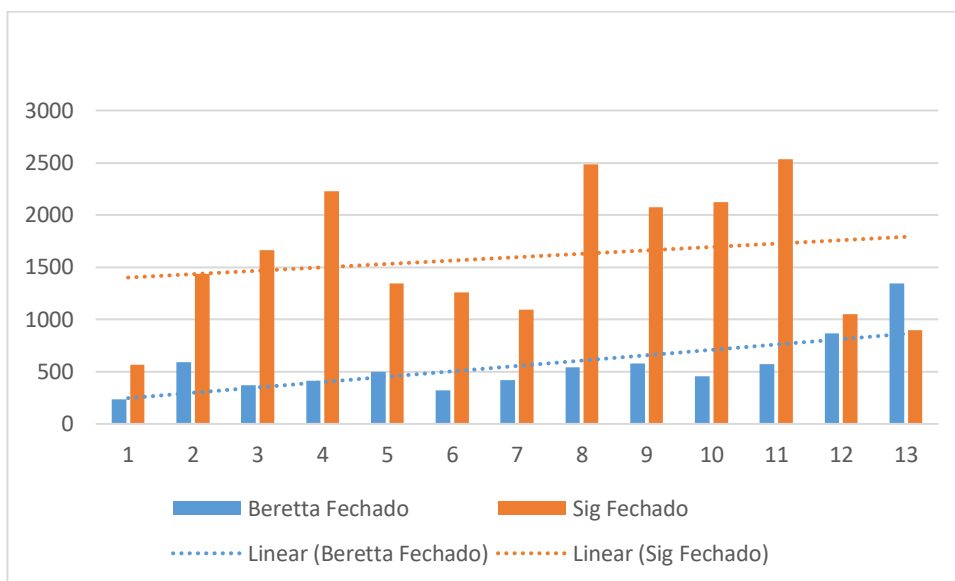
Nos gráficos de linha de tendência observa-se que os valores majoritariamente diminuem conforme a distância aumenta, independente do cenário utilizado. Tais observações estão dispostas no Gráfico 27 para Beretta nos dois ambientes, no Gráfico 28 o comportamento da Sig Sauer. Já no Gráfico 29 estão as comparações de Beretta e Sig Sauer em ambiente aberto e o Gráfico 30 em ambiente fechado.

Gráfico 27 - Linha de tendência do efeito das fabricantes no residuográfico nas peles suínas no ambiente aberto



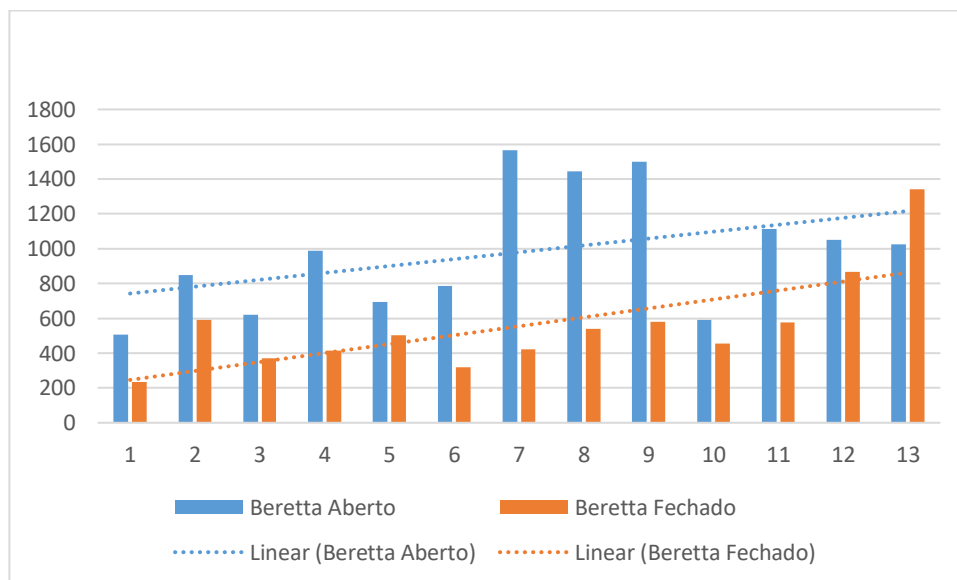
Fonte: Elaborado pela autora.

Gráfico 28 - Linha de tendência do efeito das fabricantes no residuo gráfico nas peles suínas no ambiente fechado



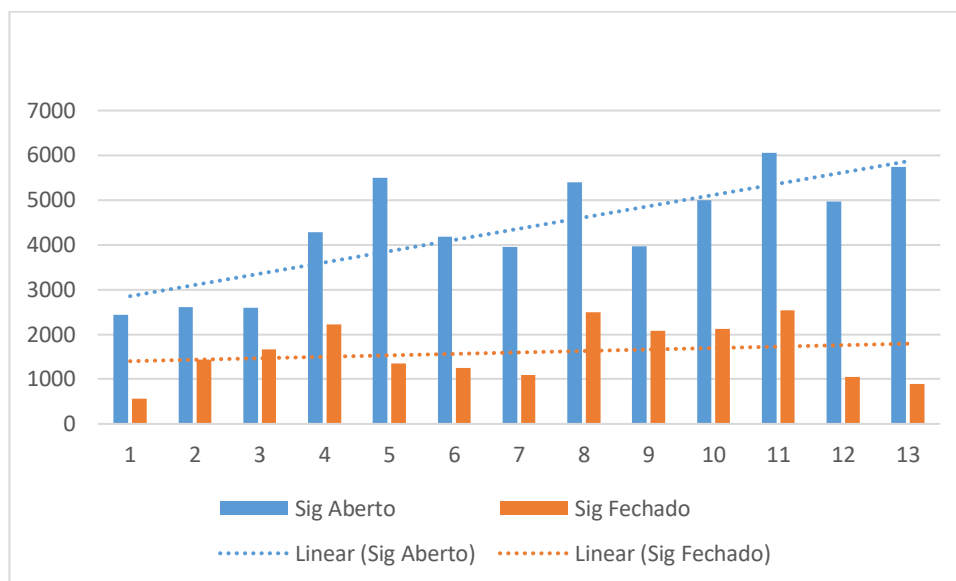
Fonte: Elaborado pela autora.

Gráfico 29 - Linha de tendência do efeito da Beretta no residuo gráfico nas peles suínas nos dois ambientes



Fonte: Elaborado pela autora.

Gráfico 30 - Linha de tendência do efeito da Sig Sauer no residuográfico nas peles suínas nos dois ambientes



Fonte: Elaborado pela autora.

4.5 Análises do MEV

O procedimento seguiu conforme orientações do POP de balística forense do Governo Federal (Ministério da Justiça e Segurança Pública, 2024a). Devido a característica do tipo de munição utilizado ser NTA o GSR produzido não será o típico, uma combinação de Antimônio, Bário e Chumbo conforme diferencia Santos (2020).

Conforme a norma ASTM E1588-17 (*apud* Santos, 2020), a análise de partículas características de GSR deve ser realizada no modo BEI, garantindo que a aquisição do espectro de raios X característicos ocorra em partículas cujo brilho exceda um limite previamente definido, indicando a presença de elementos de alto número atômico.

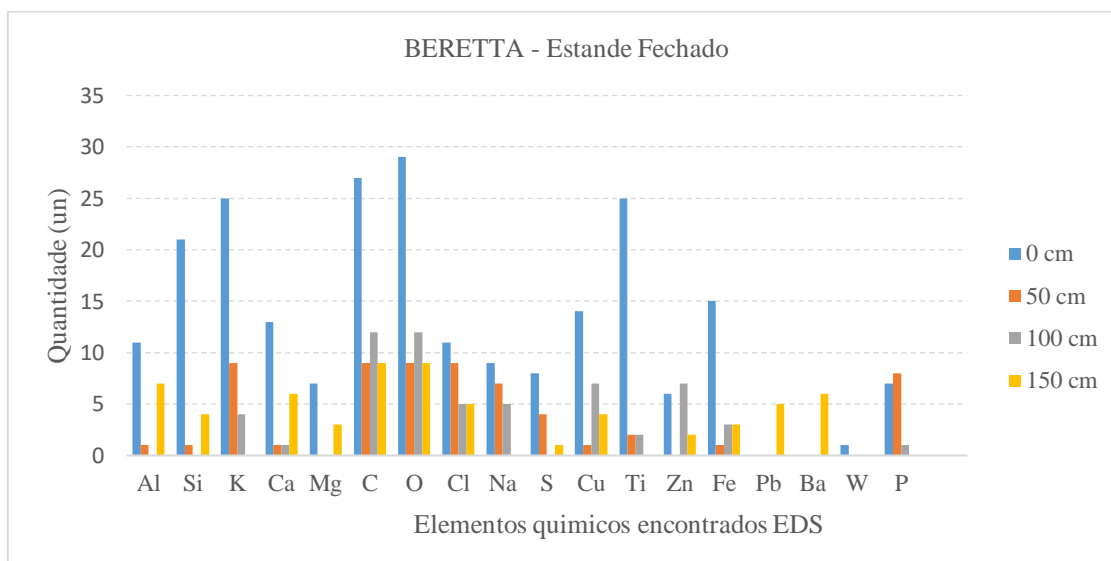
As observações aqui demonstradas divergem do declarado por Carneiro (2020) e converge com Santos (2020) e Oliveira (2020) que o MEV/EDS seria um método adequado para detecção de GSR inclusive de munições NTA.

4.5.1 Análises do MEV/EDS – Beretta estande Fechado

A análise qualitativa da composição elementar dos resíduos de tiro (GSR) da Beretta em ambiente fechado (Gráfico 31), realizada por Microscopia Eletrônica de

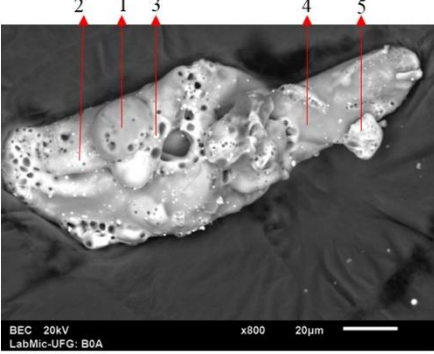
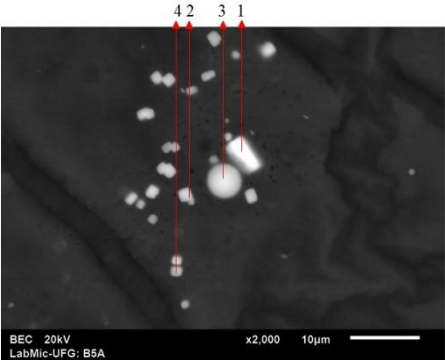
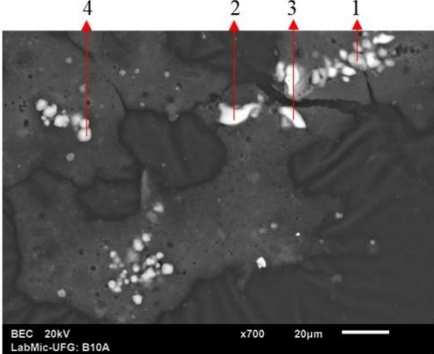
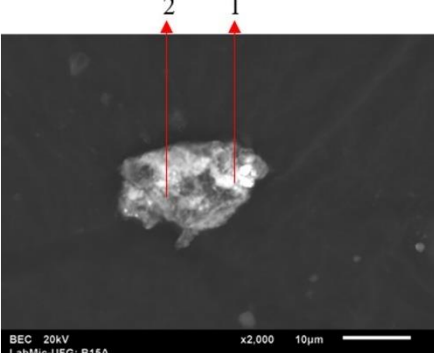
Varredura com Espectroscopia de Raios X por Dispersão de Energia (SEM-EDS), demonstraram variações significativas na deposição dos resíduos conforme a distância do disparo (Quadro 11).

Gráfico 31 - Análise qualitativa da presença de elementos químicos na condição de Beretta /Estande Fechado



Fonte: Elaborado pela autora.

Quadro 11 - MEV/EDS Beretta estande fechado

BERETTA – ESTANDE FECHADO	
0 cm	 <p>1 → C, O, Na, Al, Si, K, Ti, Fe 2 → C, O, Na, Cu, Al, Si, K, Ti, Fe 3 → C, O, Si, K, Ti, Fe 4 → C, O, Na, Al, Si, K, Ti 5 → C, O, Si, K, Ti, Fe</p>
50 cm	 <p>1 → C, O, Na, Cl, K, P, Ti 2 → C, O, Na, Fe, Si, Al, P, Cl, K, Ca, Ti, Cu 3 → C, O, Na, Cl, P, S, K 4 → C, O, Na, Cl, K, P</p>
	 <p>1 → C, O, Cl, Na, K 2 → C, O, Cl, Na, K 3 → C, O, Cl, Na, K, P 4 → C, O, Cl, Na, K 5 → C, O, Cl, Na,</p>
	 <p>1 → C, O, Cl, Fe, Cu, Pb, Ca, Al 2 → C, O, Cl, Cu, Ba, Pb, Ca, Si, Al</p>

Fonte: Elaborado pela autora.

Os elementos Cl (Cloro), Na (Sódio), S (Enxofre), C (Carbono) e O (Oxigênio) apresentaram altas concentrações a 0 cm, reduzindo-se progressivamente com o aumento da distância do disparo. Tanto o Cl, C, quanto O têm grande presença em 0 cm e 50 cm, mas diminuem significativamente a partir de 100 cm, indicando dispersão e/ou sua volatilidade. O Na e S são detectáveis até 100 cm, mas em menores quantidades em 150 cm, reforçando que resíduos da pólvora podem atingir distâncias maiores antes da dissipação completa, conforme relatado por Yuksel, bayram *et al.*, 2023).

Analisando a variação dos fragmentos metálicos, observa-se que Cu (Cobre), Zn (Zinco), Ti (Titânio), Fe (Ferro), foram altamente detectados a 0 cm, conforme descrito na literatura por Mendes e Da Veiga, 2023, mas apresentaram uma redução significativa em 50 cm e são praticamente inexistentes a partir de 100 cm, o Cu e Zn, associados ao estojo e ao projétil (latão), têm picos em 0 cm e se dissipam rapidamente e o Ti e Fe, possivelmente derivados do projétil, também apresentam grande concentração inicial, mas quase desaparecem após 50 cm, indo em conformidade com os achados de Martiny *et al.* (2008), Duarte *et al.* (2015) e Romanò *et al.* (2020) sobre a composição dos resíduos de tiro.

Em relação a análise de elementos característicos do primer a munição NTA substitui os metais pesados tradicionais Chumbo, Antimônio e Bário (Pb, Sb e Ba) por elementos alternativos nos primers. O alumínio (Al) e o silício (Si) destacam-se na ignição e combustão, com maior concentração a 0 cm e 50 cm. O potássio (K) tem grande presença até 50 cm, mas diminui significativamente a partir de 100cm, confirmando seu uso em primers atóxicos conforme apontado por ASTM E1588-17 (2017). Após 50 cm, observou-se uma redução significativa desses elementos, indicando um processo de dispersão dos resíduos (Frank, 2016). Ambos os cenários podem ser observados no Quadro 11.

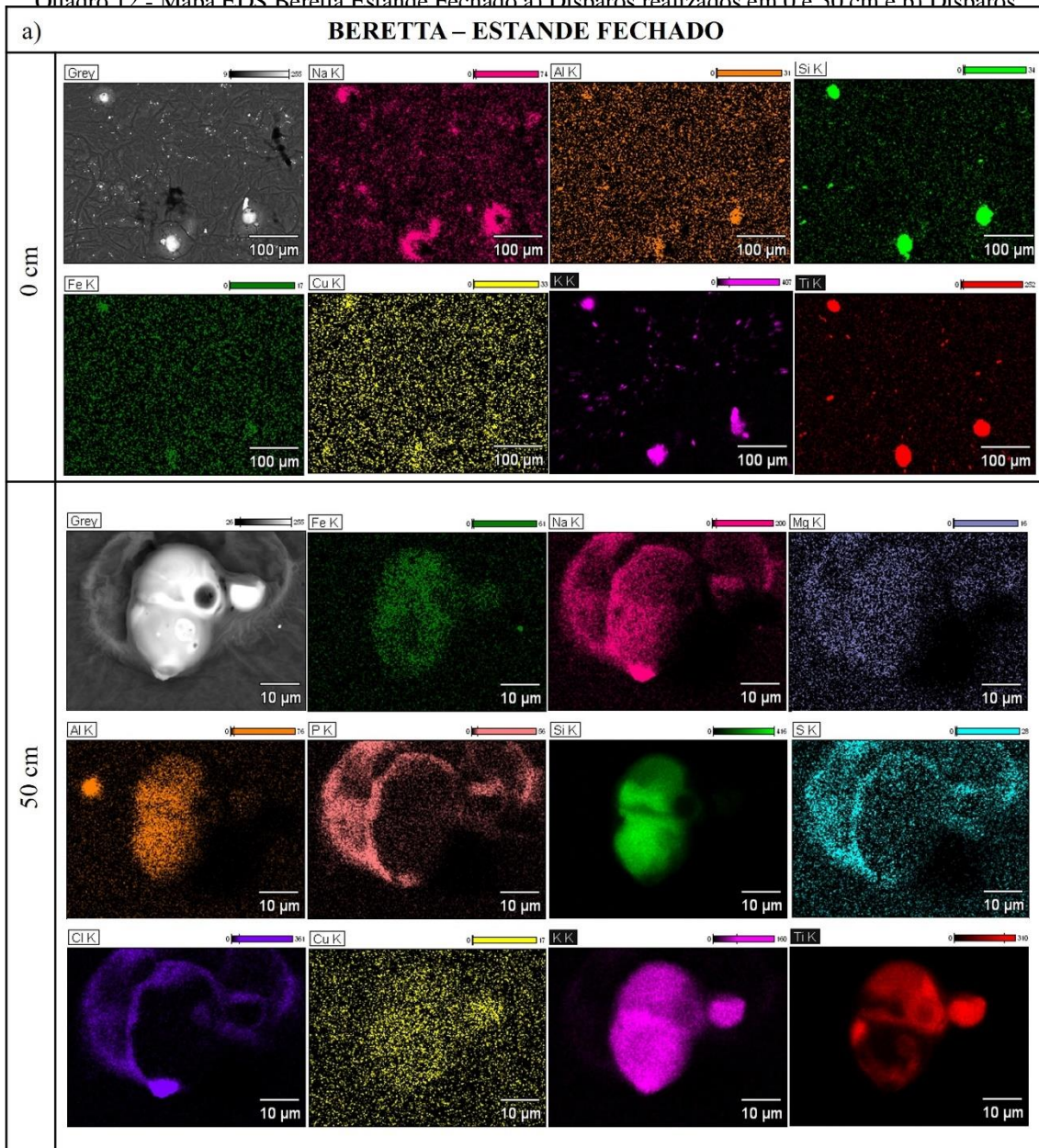
Os elementos tungstênio (W) e fósforo (P) aparecem em pequenas quantidades, principalmente a 100 cm e 150 cm, sugerindo influência ambiental. O W pode estar relacionado ao ambiente do disparo ou a vestígios de outras munições, enquanto o P, presente em propelentes, também pode ser um contaminante externo, conforme Donghi *et al.* (2019). Da mesma forma, Pb e Ba, aparecem em menor quantidade indicando contaminação por disparo anterior principalmente em ambientes onde ocorrem disparos de munições convencionais conforme relatado por Maia *et al.*, 2022.

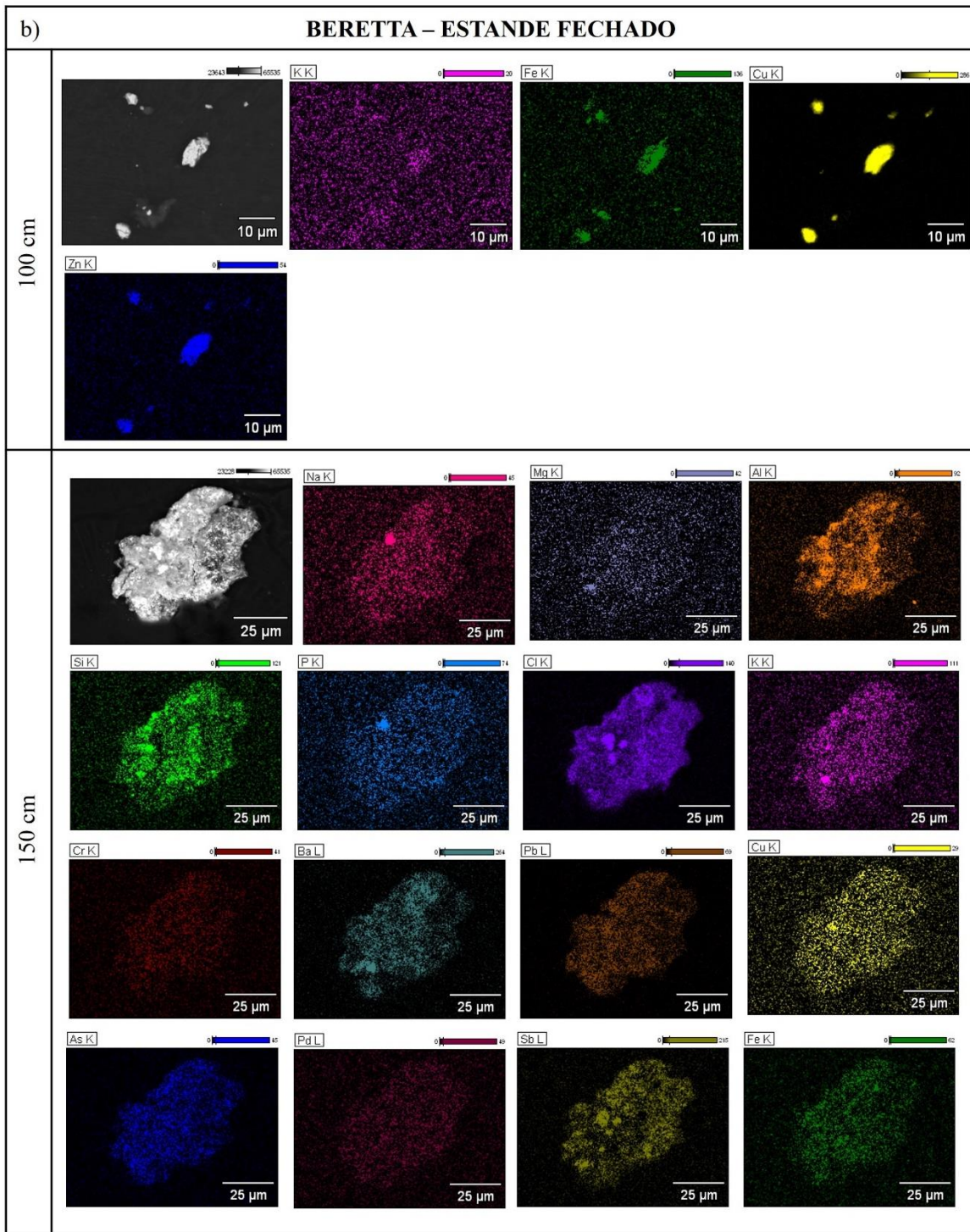
Os resultados obtidos por espectros EDS, combinados com a análise de mapas/EDS apresentados no Quadro 12, reforçam os resultados obtidos por meio dos espectros de EDS.

Nos disparos a 0 cm, a concentração de partículas contendo K, S e Cl é elevada e distribuída de forma homogênea no substrato, enquanto a presença de Cu e Ti sugere fragmentos metálicos oriundos do cartucho e do impacto do projétil. Essas partículas apresentam morfologia irregular, indicando fragmentação e fusão parcial durante a combustão, com baixa dispersão, favorecendo a identificação em análises forenses. As morfologias e os elementos encontrados são vistos nos Quadros 11 e 12.

Aos 50 cm, observa-se maior dispersão dos resíduos, com o aparecimento de Na e magnésio (Mg), além da diminuição da concentração de Cu e Ti, indicando que as partículas se espalham mais na atmosfera, reduzindo a adesão ao substrato e tornando sua identificação mais desafiadora. Já nos disparos a 100 cm e 150 cm, há um aumento significativo na dispersão das partículas e uma redução na presença de metais pesados, como Cu e Zn, com os elementos leves Na e K aparecendo de maneira difusa.

Quadro 12 - Mapa EDS Beretta Estande Fechado a) Disparos realizados em 0 e 50 cm e b) Disparos



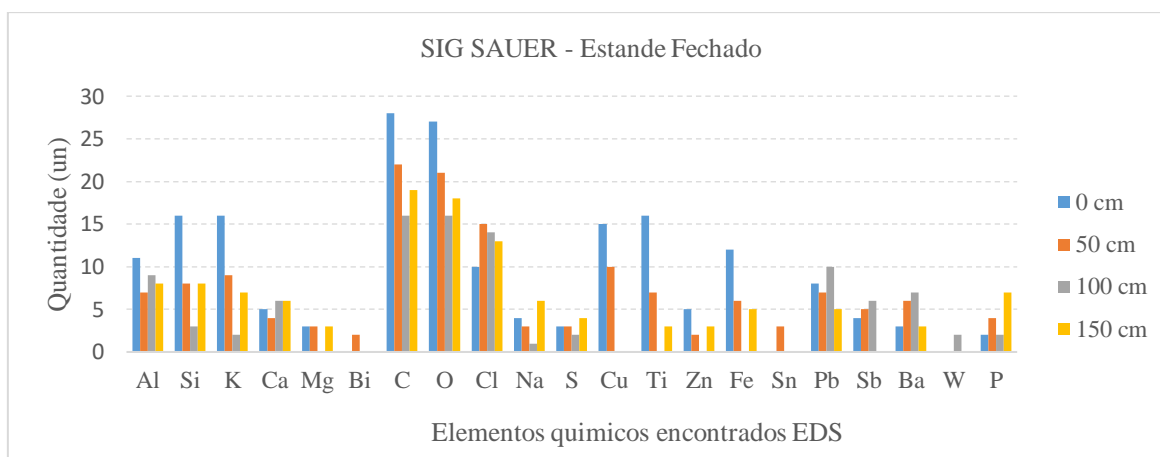


Fonte: Elaborado pela autora.

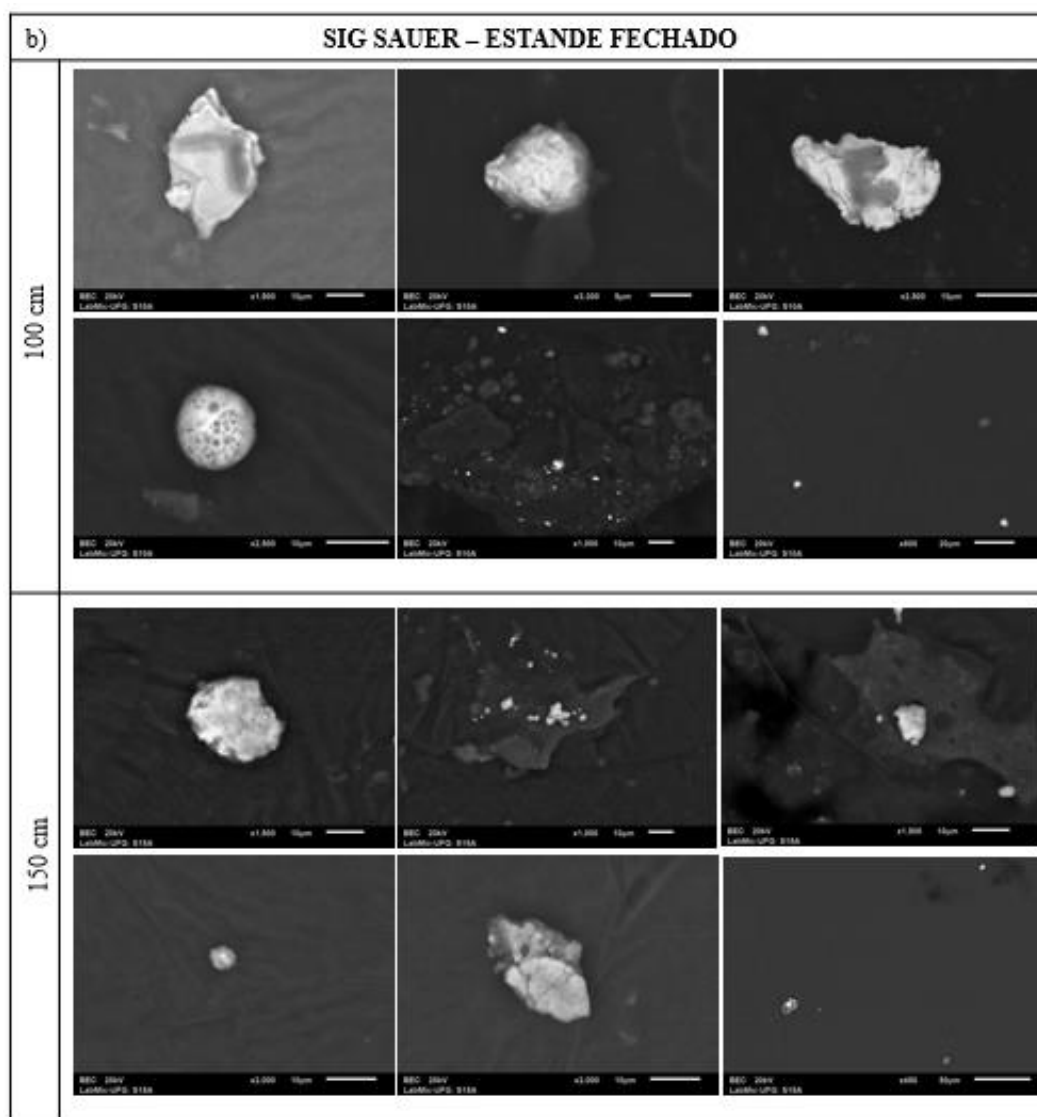
4.5.2 Análises do MEV/EDS – Sig Sauer estande fechado

A análise dos elementos químicos encontrados nos resíduos de disparo da munição Sig Sauer em estande fechado, seguindo a mesma tratativa que o tópico anterior evidencia uma tendência clara de dispersão e volatilização dos compostos ao longo da distância do disparo (Gráfico 32 e Quadro 13).

Gráfico 32 - Análise qualitativa da presença de elementos químicos na condição de Sig Souer /Estande Fechado



Fonte: Elaborado pela autora.



Fonte: Elaborado pela autora.

Os elementos C e O apresentaram altas concentrações a 0 cm, reduzindo-se progressivamente com o aumento da distância, corroborando estudos prévios que indicam a dissipação gradual desses elementos voláteis (Yuksel, Bayram *et al.*, 2023).

Ao analisar a variação dos fragmentos metálicos, observa-se que Cu (Cobre), Zn, Ti e Fe foram altamente detectados em 0 cm, conforme descrito na literatura por Mendes e Da Veiga (2023), mas apresentaram redução significativa em 50 cm e são praticamente inexistentes a partir de 100 cm. O Cu e Zn, associados ao estojo e ao projétil, atingiram seus picos em 0 cm, dissipando-se rapidamente. Da mesma forma, o Ti e Fe, possivelmente derivados do projétil, apresentaram grande concentração inicial, mas praticamente desapareceram após 50 cm, em conformidade com os achados de Martiny

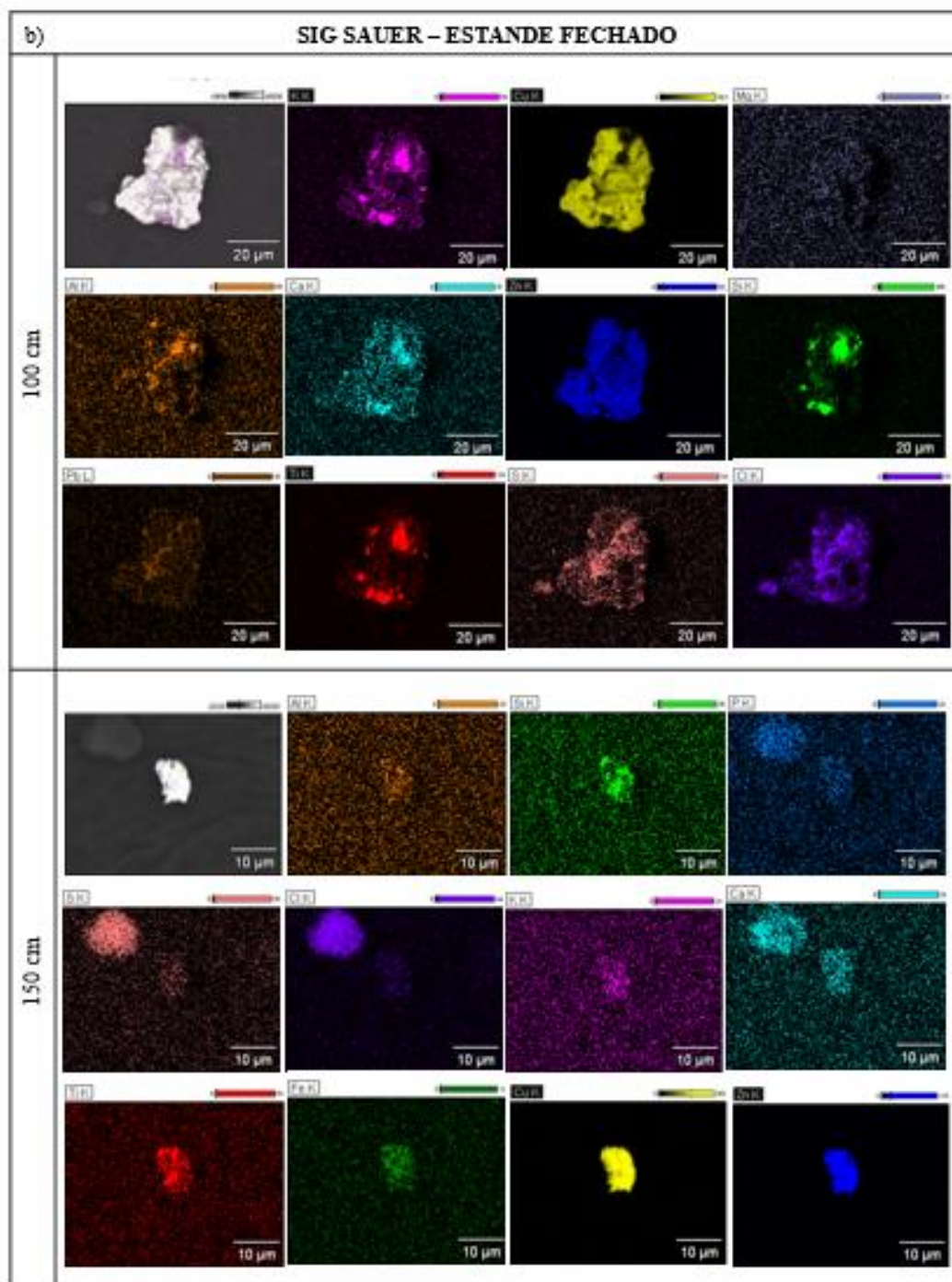
et al. (2008), Duarte *et al.* (2015) e Romanò *et al.* (2020) sobre a composição e dispersão dos resíduos de tiro.

Al e Si, essenciais na ignição e combustão, apresentaram maiores concentrações em 0 cm e 50 cm, enquanto o K, amplamente utilizado em primers atóxicos, manteve-se presente até 50 cm, mas sofreu grande redução a partir de 100 cm, conforme indicado na ASTM E1588-17 (2017). A redução significativa desses elementos após 50 cm evidencia o processo de dispersão dos resíduos no ambiente (Frank, 2016).

Os elementos W e P apareceram em pequenas quantidades, especialmente em 100 cm e 150 cm, sugerindo influência ambiental. O W pode estar relacionado ao ambiente de disparo ou vestígios de outras munições, enquanto o P, presente em propelentes, pode ser um contaminante externo, conforme discutido por Donghi *et al.* (2019). Da mesma forma, Pb e Ba, embora em menor quantidade, foram identificados, possivelmente por contaminação residual de disparos anteriores, especialmente em locais onde ocorrem disparos frequentes de munições convencionais, como relatado por Maia *et al.* (2022).

Da mesma forma que para Beretta em estande fechado, os resultados obtidos por espectros EDS, combinados com a análise de mapas/EDS apresentados no Quadro 14, reforçam os resultados obtidos por meio dos espectros de EDS.

Nos disparos a 0 cm, observou-se uma alta concentração de partículas contendo K, S e Cl, distribuídas de forma homogênea sobre o substrato. A presença de Cu e Ti indica fragmentos metálicos. Aos 50 cm, houve uma maior dispersão dos resíduos, com o aparecimento de Na e Mg, além da diminuição da concentração de Cu e Ti. Esse comportamento sugere que as partículas se espalham mais na atmosfera, reduzindo sua adesão ao substrato e tornando a identificação mais desafiadora. Nos disparos a 100 cm e 150 cm, a dispersão das partículas aumentou significativamente, enquanto a presença de metais pesados, como Cu e Zn, foi reduzida. Elementos leves, como Na e K, ainda foram detectados, mas de maneira difusa.



Fonte: Elaborado pela autora.

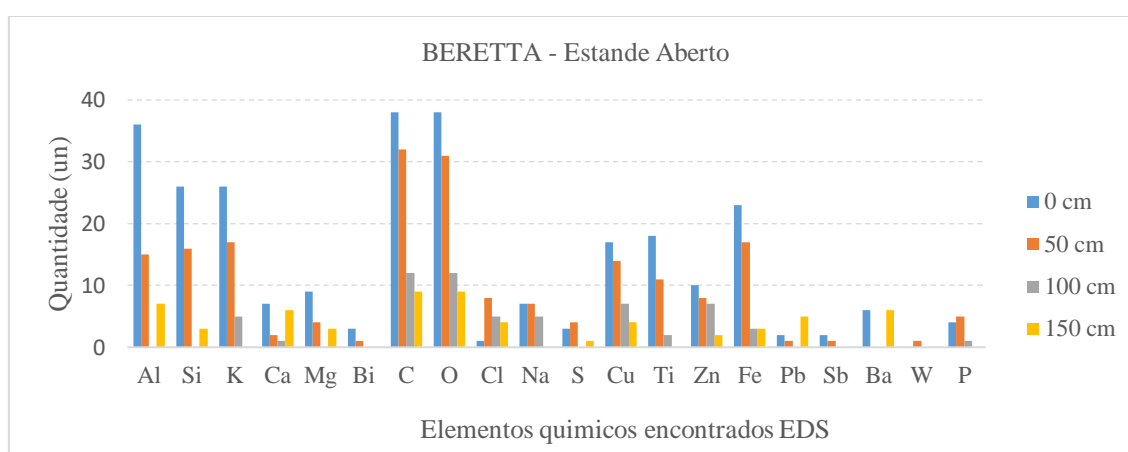
4.5.3 Análises do MEV/EDS – Beretta estande Aberto

Nos disparos realizados no estande aberto com a Beretta como pode ser visto no Gráfico 33 e exemplificado no Quadro 15, os elementos C e O apresentaram altas concentrações a 0 cm, reduzindo-se gradativamente com o aumento da distância do

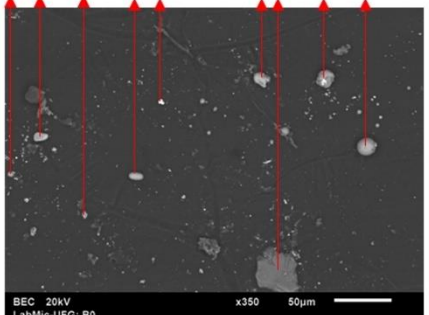
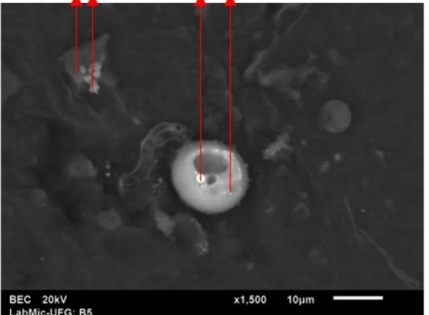
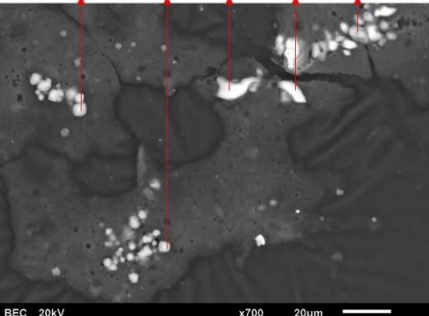

disparo. O, Na e S permaneceram detectáveis até 100 cm, embora em menores quantidades a 150 cm, o que sugere que resíduos de pólvora podem alcançar distâncias mais extensas antes de sua dissipação total, como relatado por Yuksel, Bayram *et al.* (2023).

Ao analisar a distribuição dos fragmentos metálicos, verifica-se que Cu (Cobre), Zn, Ti e Fe foram altamente detectados a 0 cm, como descrito por Mendes e Da Veiga (2023), mas apresentaram uma redução considerável em 50 cm e praticamente desapareceram a partir de 100 cm. Seguindo a mesma característica que para Beretta em estande fechado, alinhado com os achados de Romanò *et al.* (2020) sobre a composição dos resíduos de disparo.

Gráfico 33 - Análise qualitativa da presença de elementos químicos na condição de Beretta /Estande Aberto



Fonte: Elaborado pela autora.

BERETTA – ESTANDE ABERTO	
0 cm	 <p>1 → C, O, Ba, Pb, K 2 → C, O, Ba, Pb, K, Cl 3 → C, O, Mg, Fe, K, Si, Al 4 → C, O, Mg, Fe, Si, Al 5 → C, O, Na, Mg, Fe, K, Si, Al 6 → C, O, Mg, Fe, K, Si, Al 7 → C, O, S, Ba, Al 8 → C, O, Mg, Fe, K, Si, Al 3 → C, O, Mg, Fe, K, Si, Al, Na</p>
50 cm	 <p>1 → C, O, Na, Cl, K, P, S 2 → C, O, Na, Cl, K, P, S 3 → C, O, S, Ti, Cu, K 4 → C, O, Fe, Ti, K, Si</p>
100 cm	 <p>1 → C, O, Na, Cl, K 2 → C, O, Na, Cl, K 3 → C, O, Na, Cl, K, P 4 → C, O, Na, Cl, K 5 → C, O, Na, Cl, K</p>
150 cm	 <p>1 → C, O, Fe, Mg, Al, S, S, Ca, Ba, Fe 2 → C, O, Al, Pb, Cl, Ba</p>

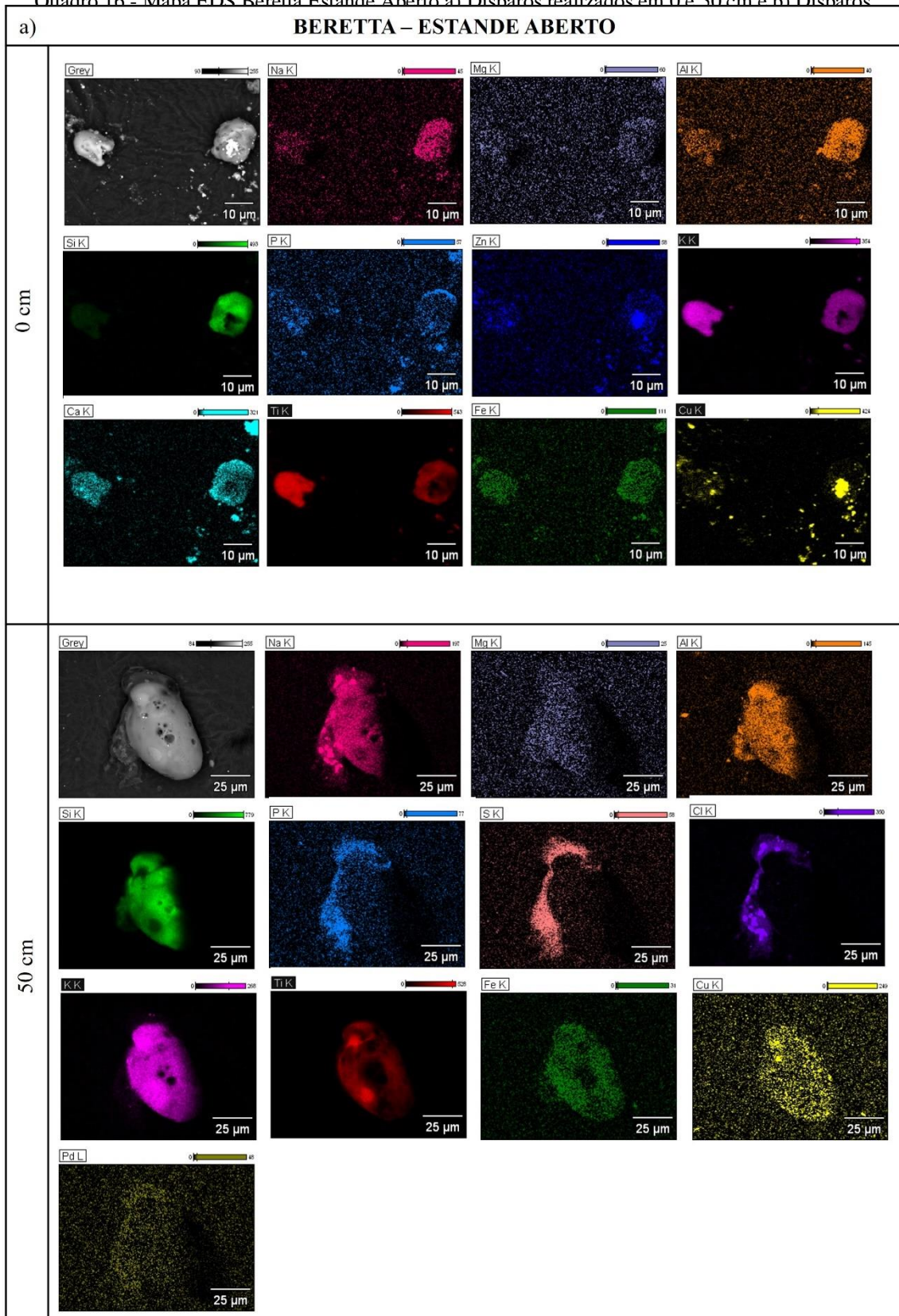
Fonte: Elaborado pela autora.

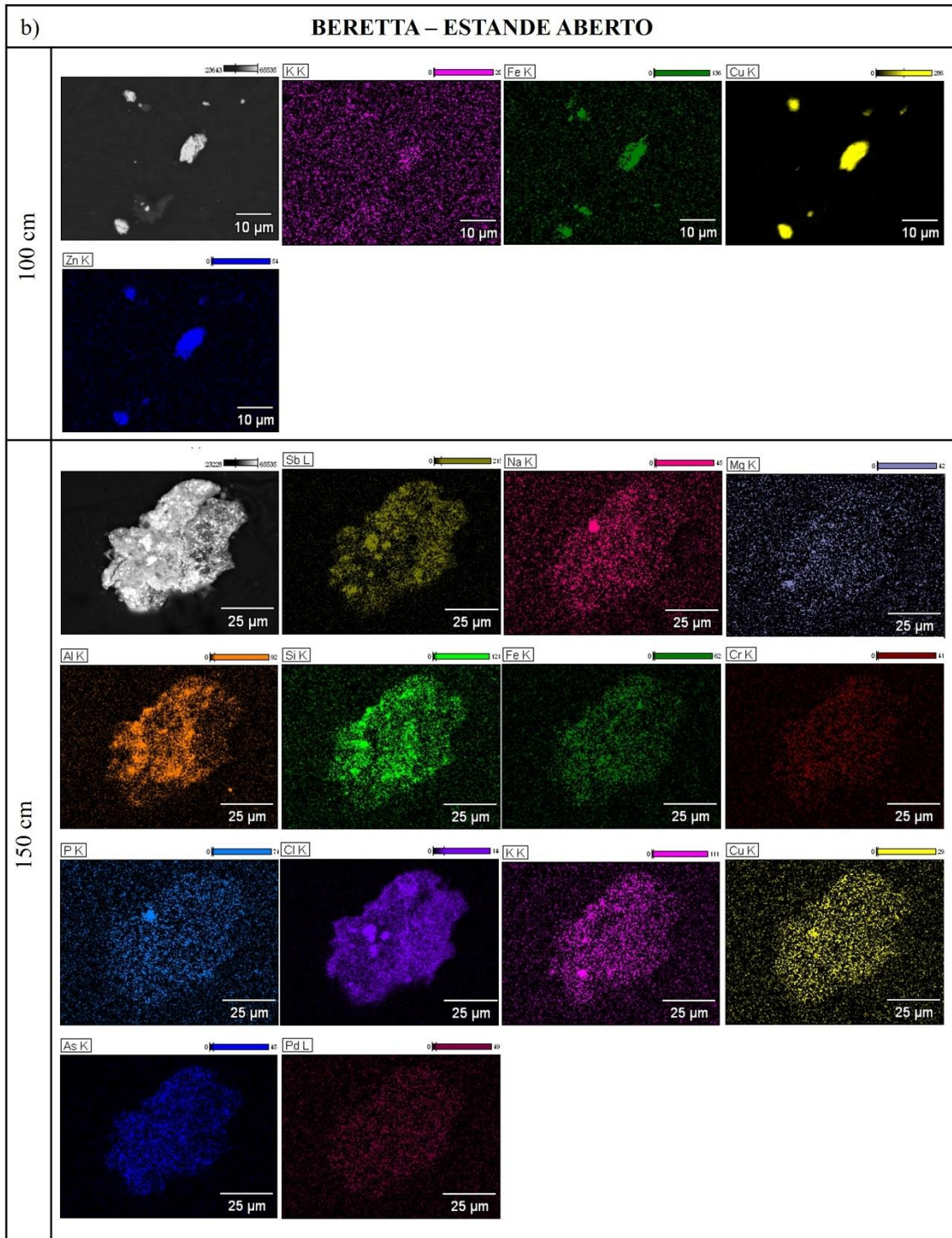
Com relação aos elementos característicos do primer, o Al e o Si apresentaram concentrações elevadas nos disparos a 0 cm e 50 cm, indicando sua participação na ignição e combustão. O K também demonstrou alta presença até 50 cm, mas decresceu significativamente a partir de 100 cm, corroborando seu papel nos primers atóxicos, conforme apontado pela ASTM E1588-17 (2017). Após 50 cm, observou-se uma dispersão acentuada desses elementos, indicando a perda progressiva dos resíduos na atmosfera (Frank, 2016).

Os elementos W e P foram detectados em pequenas quantidades, especialmente a 100 cm e 150 cm, o que pode indicar uma possível influência ambiental. O W pode estar relacionado ao próprio local dos disparos ou a resíduos de outras munições, enquanto o P, presente nos propelentes, pode atuar como contaminante externo, como descrito por Donghi *et al.* (2019). Da mesma forma, a presença de Pb e Ba em baixas quantidades, pode ser resultado de contaminação por disparos anteriores, principalmente em ambientes onde ocorrem tiros com munições convencionais, conforme relatado por Maia *et al.* (2022).

A análise dos mapas EDS mostrados no Quadro 16 para os disparos com a Beretta em estande aberto demonstrou que, a 0 cm, há alta concentração de partículas contendo K, S e Cl, com distribuição homogênea e forte adesão ao substrato, além da presença de Cu e Ti, sugerindo fragmentos metálicos. Aos 50 cm, ocorre maior dispersão dos resíduos, com introdução de Na e Mg e redução de Cu e Ti, indicando menor adesão ao substrato e maior dificuldade de identificação. Nos disparos a 100 cm e 150 cm, a dispersão aumenta significativamente, resultando na redução de metais pesados e na presença difusa de elementos leves como Na e K, evidenciando a perda de intensidade dos resíduos com o aumento da distância.

Quadro 16 - Mapa EDS Beretta Estande Aberto a) Disparos realizados em 0 e 50 cm e b) Disparos





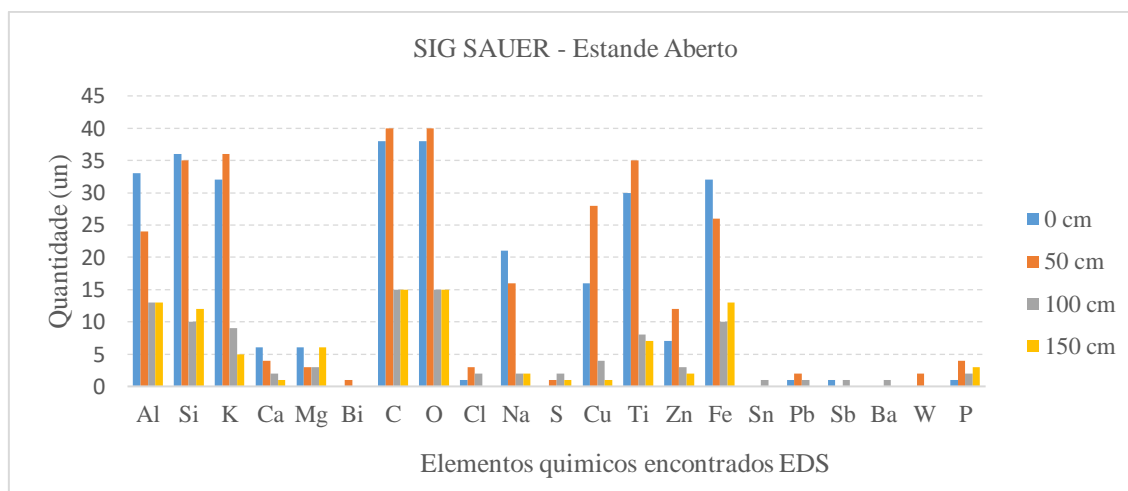
Fonte: Elaborado pela autora.

4.5.4 Análises do MEV/EDS – Sig Sauer estande Aberto

A análise dos disparos realizados no estande aberto com a Sig Sauer, conforme ilustrado no Gráfico 34 e exemplificado no Quadro 17, indica que os elementos C e O apresentam concentrações elevadas a 0 cm, diminuindo progressivamente com o aumento da distância. O Na e S permanecem detectáveis até 100 cm, mas em menores quantidades a 150 cm, sugerindo que resíduos da pólvora podem alcançar distâncias maiores antes de sua dissipação completa, conforme descrito por Yuksel, Bayram *et al.* (2023).

No que diz respeito à distribuição dos fragmentos metálicos, Cu, Zn, Ti e Fe foram fortemente detectados a 0 cm, como apontado por Mendes e Da Veiga (2023), mas apresentaram uma redução considerável em 50 cm e praticamente desapareceram a partir de 100 cm, alinhando-se com os achados de Romanò *et al.* (2020). Com relação aos elementos característicos do primer, o Al e o Si foram detectados em elevadas concentrações nos disparos a 0 cm e 50 cm, indicando sua importância no processo de ignição e combustão.

Gráfico 34 - Análise qualitativa da presença de elementos químicos na condição de Sig Souer /Estande Aberto



Fonte: Elaborado pela autora.

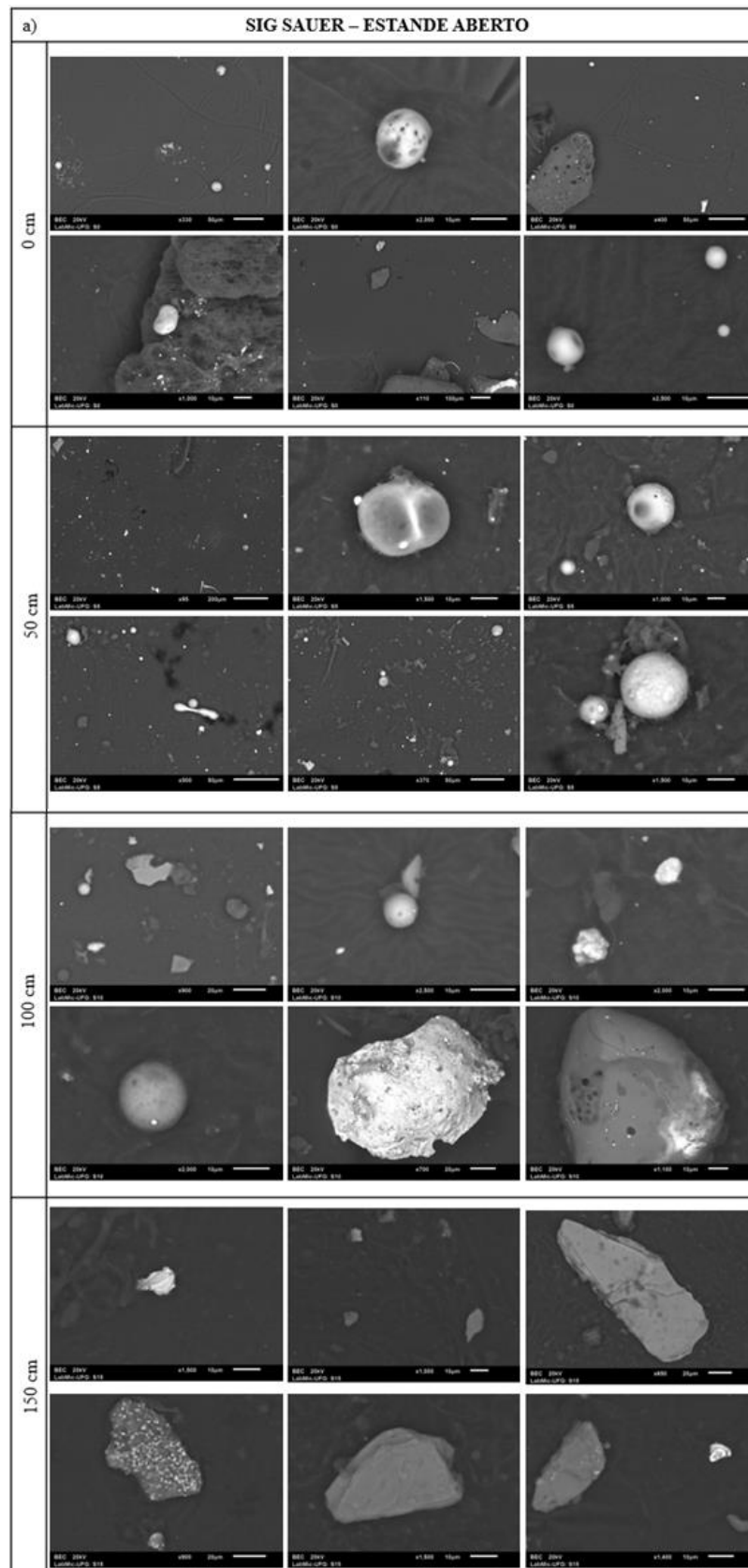
O K também foi encontrado em grandes quantidades até 50 cm, mas apresentou redução acentuada a partir de 100 cm, confirmando seu uso em primers atóxicos, conforme a ASTM E1588-17 (2017). Após 50 cm, a dispersão desses elementos se intensificou, indicando uma perda gradual dos resíduos na atmosfera (Frank, 2016). Além

disso, os elementos W e P foram identificados em pequenas quantidades, especialmente a 100 cm e 150 cm, sugerindo uma possível influência ambiental. O W pode estar associado ao ambiente do disparo ou a vestígios de outras munições, enquanto o P, presente nos propelentes, pode atuar como um contaminante externo, como indicado por Donghi *et al.* (2019). A presença de Pb e Ba em baixas quantidades sugere contaminação, conforme relatado por Yüksel *et al.*, 2023, Maia *et al.* (2022) e Martiny; Pinto, 2008.

A análise dos mapas EDS (Quadro 18) obtidos para os disparos com a Sig Sauer em estande aberto revela um padrão semelhante ao observado para a Beretta, confirmando tendências na dispersão e composição dos resíduos. A 0 cm, observa-se uma alta concentração de partículas contendo K, S e Cl, com distribuição homogênea e forte adesão ao substrato, além da presença de Cu e Ti, que indicam fragmentos metálicos associados ao cartucho e ao projétil.

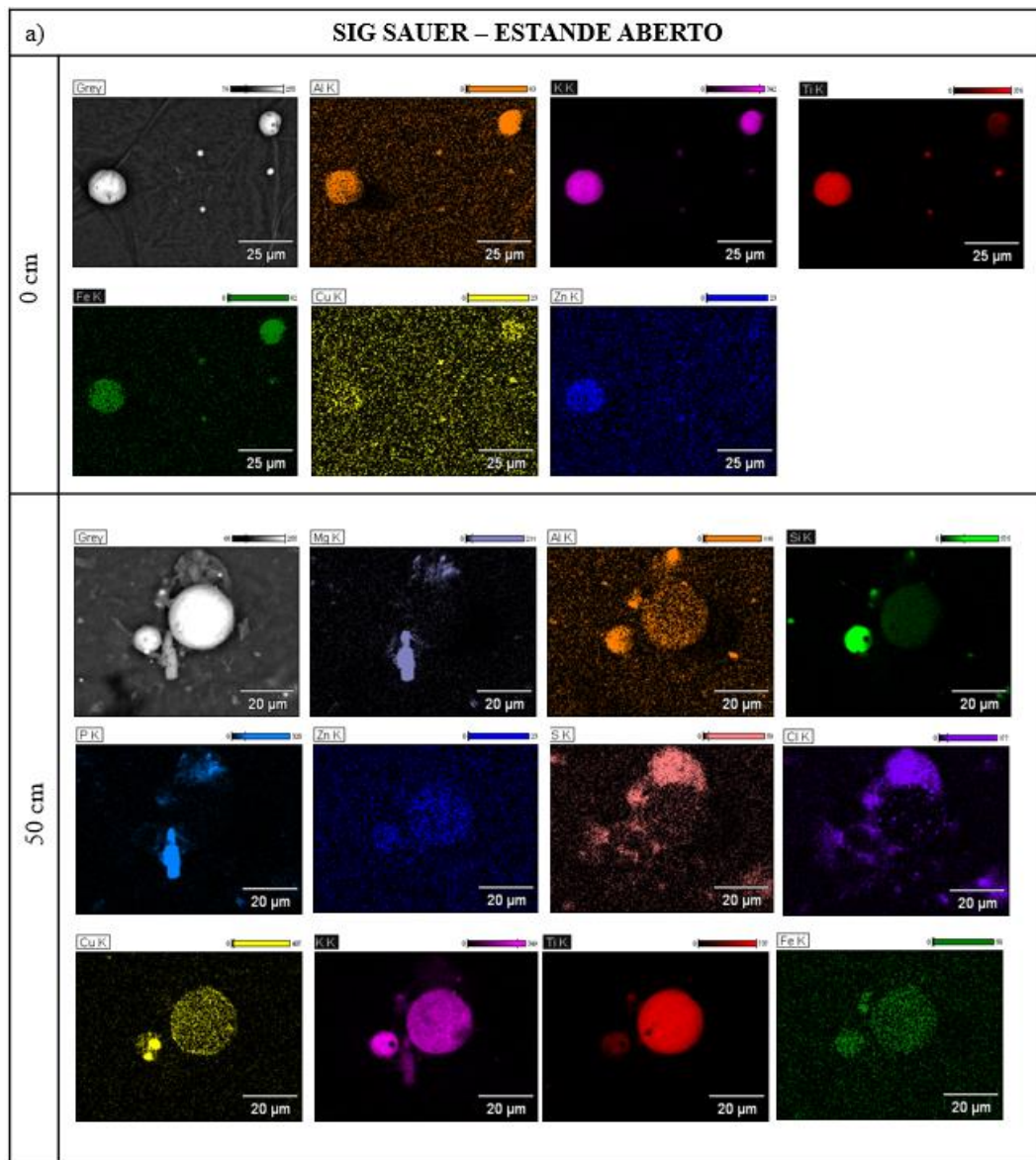
Aos 50 cm, ocorre uma dispersão mais ampla dos resíduos, com a introdução de Na e Mg, acompanhada pela redução na concentração de Cu e Ti, o que sugere menor adesão ao substrato e maior dificuldade na identificação forense. A partir de 100 cm, os resíduos apresentam uma dispersão ainda maior, resultando na diminuição significativa de metais pesados, como Cu e Zn, e na presença difusa de elementos leves, como Na e K. Esse comportamento confirma que a intensidade dos resíduos diminui progressivamente com o aumento da distância, tornando a análise forense mais desafiadora em alvos distantes.

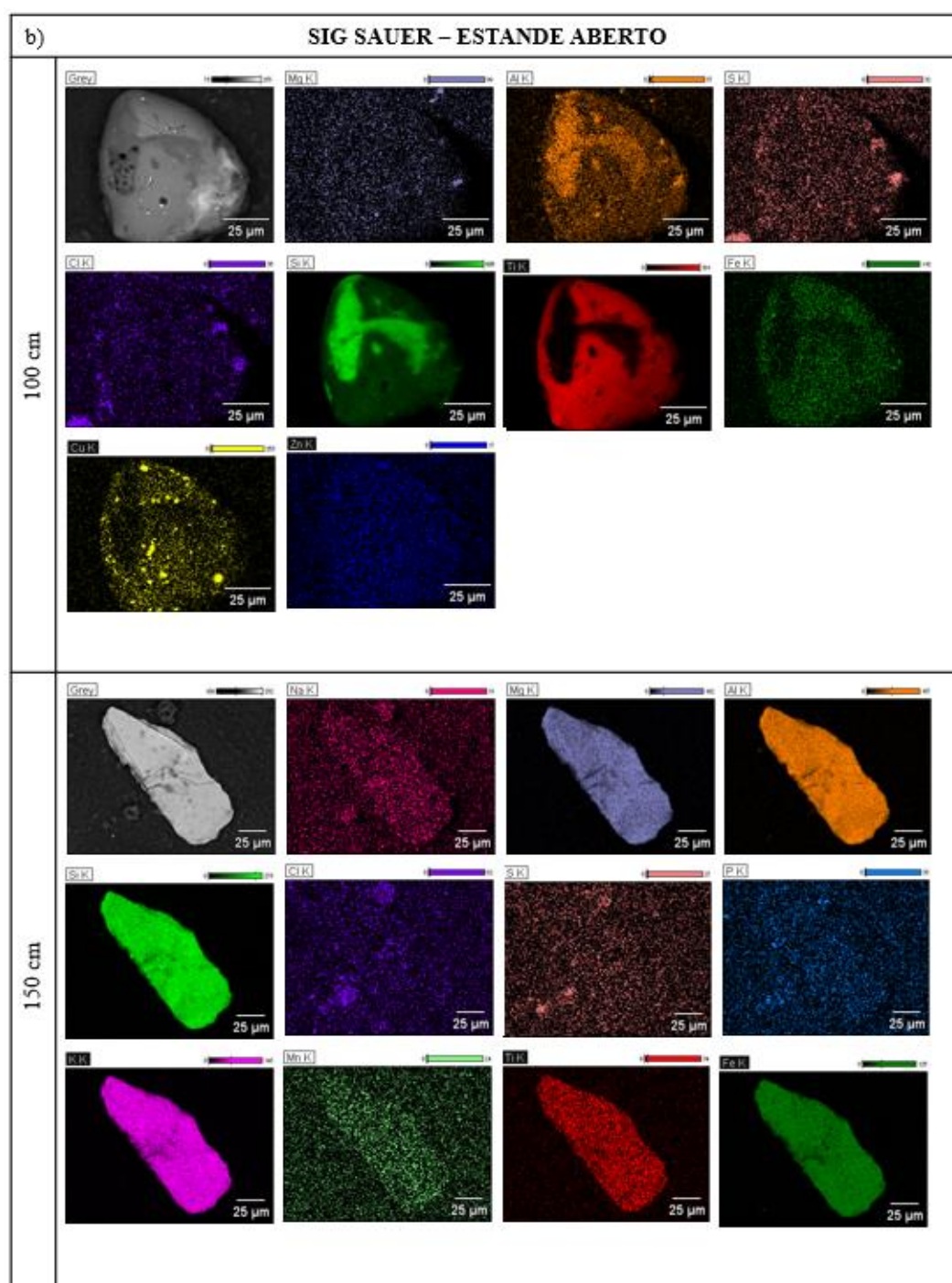
Quadro 17 - MEV/EDS Sig Sauer estande aberto



Fonte: Elaborado pela autora.

Quadro 18 - Mapa EDS Sig Souer Estande Aberto a) Disparos realizados em 0 e 50 cm e b) Disparos realizados em 100 e 150 cm





Fonte: Elaborado pela autora.

Comparando as análises realizadas para os diferentes cenários de disparo (Beretta e Sig Sauer, em estandes aberto e fechado) revela tendências consistentes na dispersão e composição dos resíduos de tiro. De maneira geral, os elementos Cl, Na, S, C e O apresentam concentrações elevadas a 0 cm, reduzindo progressivamente com o aumento da distância, corroborando a volatilidade e dispersão dos resíduos de pólvora. A presença

de Cu, Zn, Ti e Fe também é significativa a curta distância, especialmente a 0 cm, mas diminui acentuadamente a partir de 50 cm, praticamente desaparecendo em 100 cm e 150 cm, o que está alinhado com estudos prévios sobre a dispersão de fragmentos metálicos do cartucho e projétil.

Os disparos realizados no estande fechado apresentaram maior concentração de resíduos em todas as distâncias, sugerindo menor dissipação e maior adesão ao substrato devido ao ambiente controlado. Já os disparos em estande aberto mostraram uma dispersão mais acentuada e uma redução mais rápida das concentrações elementares, indicando que fatores ambientais, como circulação de ar, influenciam na distribuição dos resíduos.

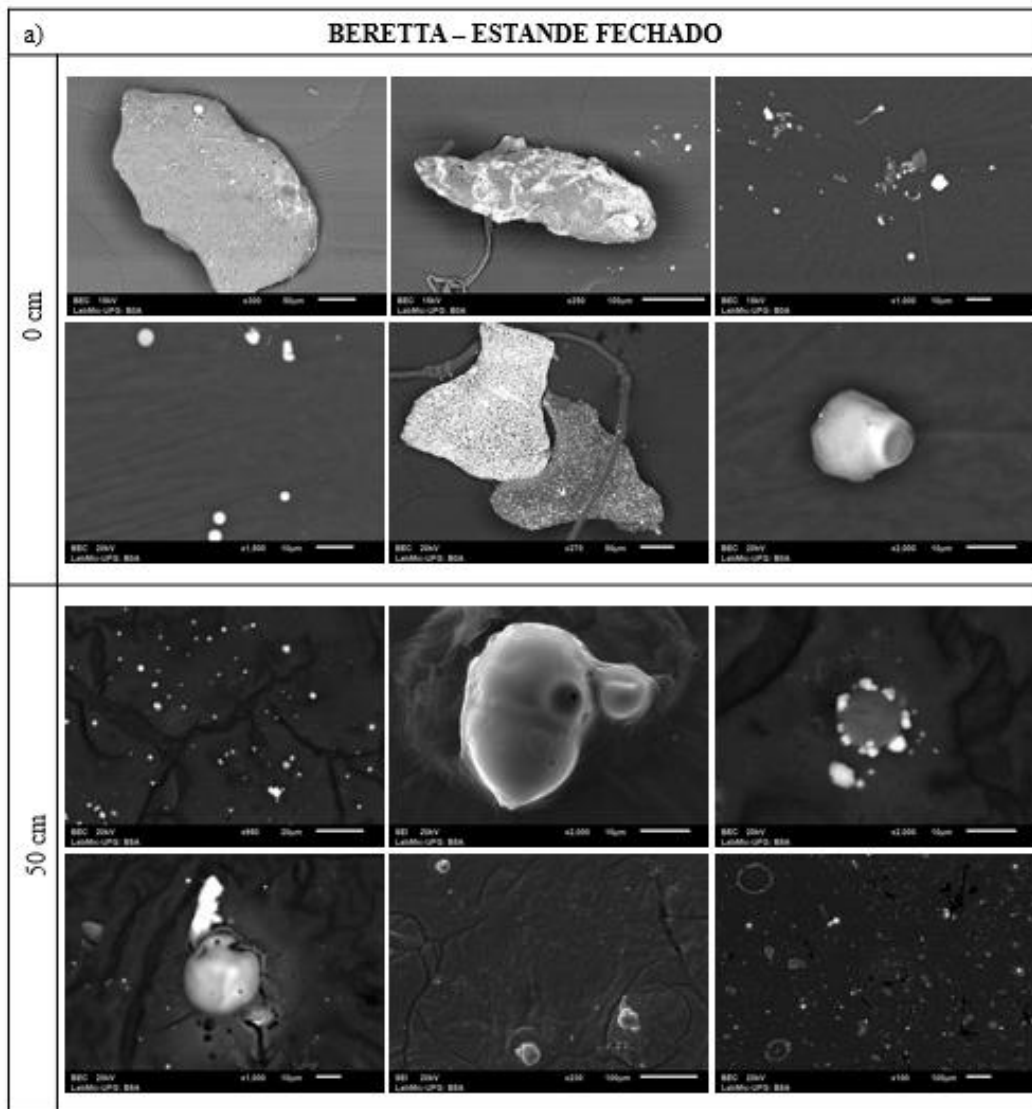
Além disso, a análise dos primers mostrou que Al, Si e K são encontrados em maiores concentrações nos disparos a curta distância, com redução progressiva à medida que a distância aumenta, reforçando seu papel nos primers atóxicos utilizados em munições NTA. O aparecimento esporádico de W e P a distâncias mais longas sugere contaminação ambiental ou interferências externas.

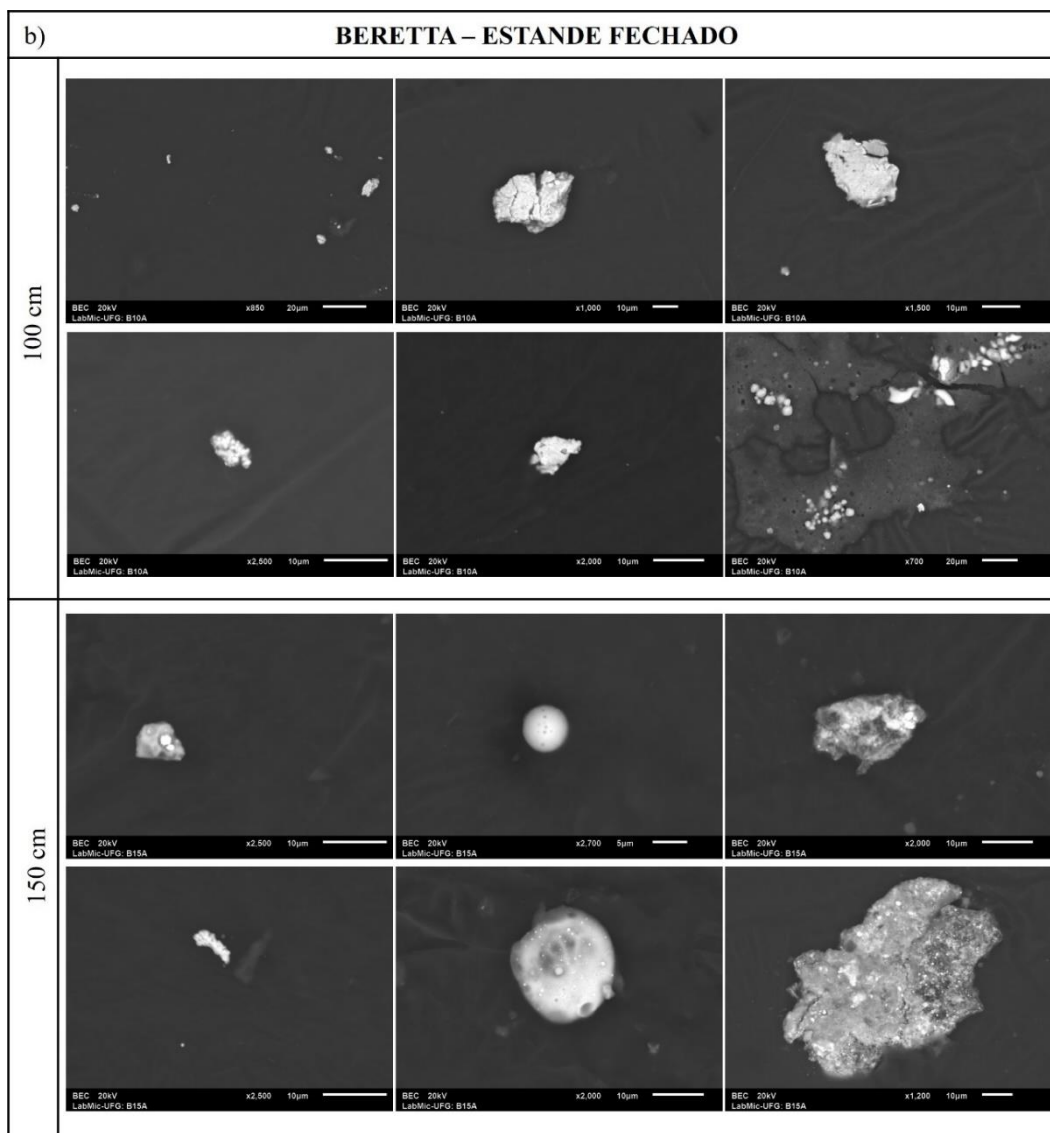
4.5.5 *Análise do MEV – Análise morfológica*

A avaliação da morfologia dos resíduos de disparo coletados a diferentes distâncias para Beretta em ambiente fechado permitiu identificar que:

- Nos disparos a 0 cm, há predominância de partículas grandes ($>20\ \mu\text{m}$), altamente agregadas e aderidas, favorecendo sua identificação. (Quadro 19-a);
- A 50 cm, observa-se uma diminuição do tamanho médio, embora ainda existam partículas grandes ($>30\ \mu\text{m}$), indicando que ainda há uma forte deposição de resíduos. (Quadro 19-a);
- Nos disparos a 100 cm, as partículas são significativamente menores ($<10\ \mu\text{m}$) e mais dispersas, reduzindo a coesão dos resíduos. (Quadro 19-b);
- A 150 cm, predominam partículas extremamente pequenas ($<5\ \mu\text{m}$), o que indica maior dificuldade de análise forense, pois as partículas se tornam difusas e de baixa aderência ao substrato. (Quadro 19-b).

Quadro 19 - MEV Beretta estande fechado a) Disparos a 0 e 50 cm e b) Disparos a 100 e 150 cm





Fonte: Elaborado pela autora.

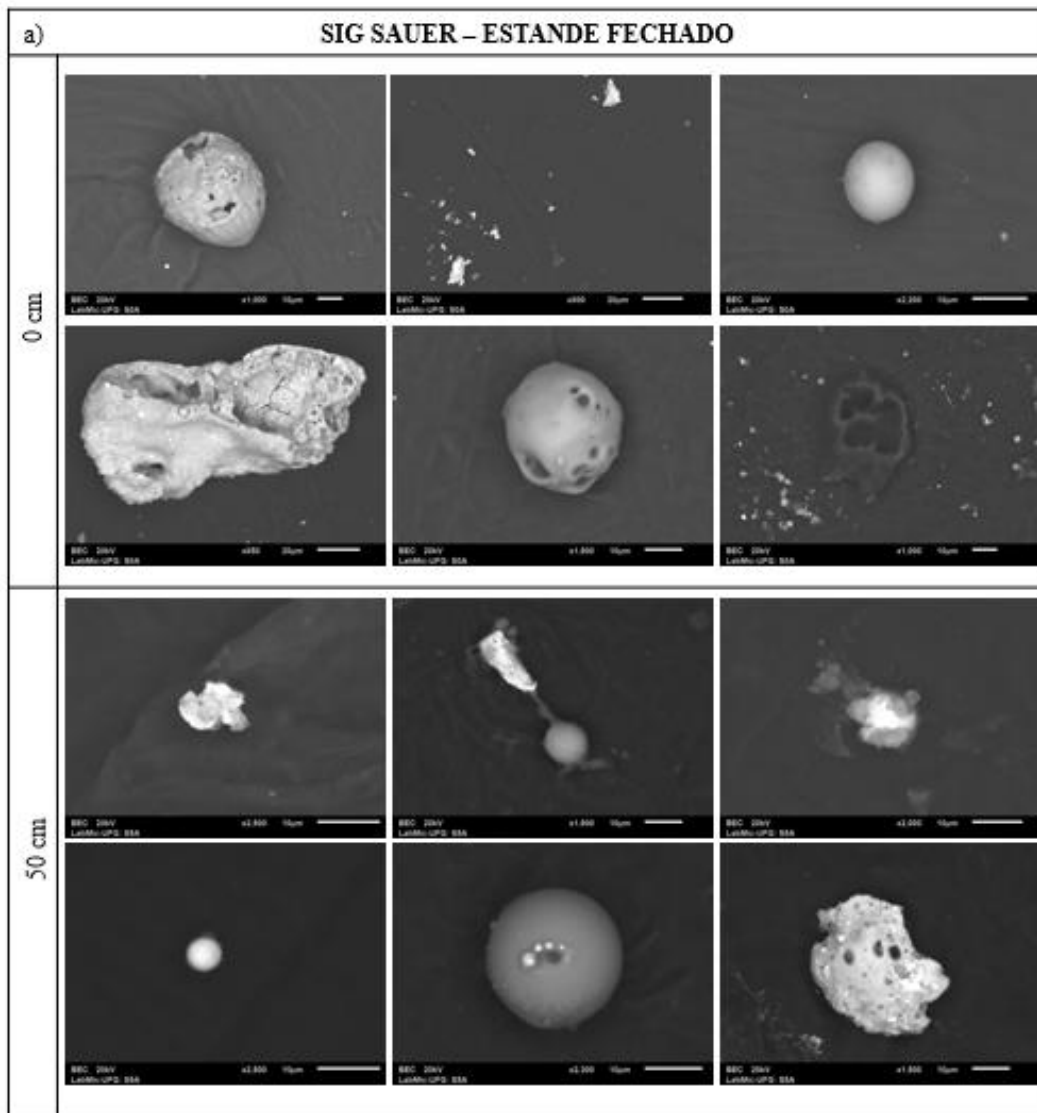
Já na avaliação da morfologia dos resíduos de disparo coletados a diferentes distâncias para Sig Sauer em ambiente fechado permitiu identificar que:

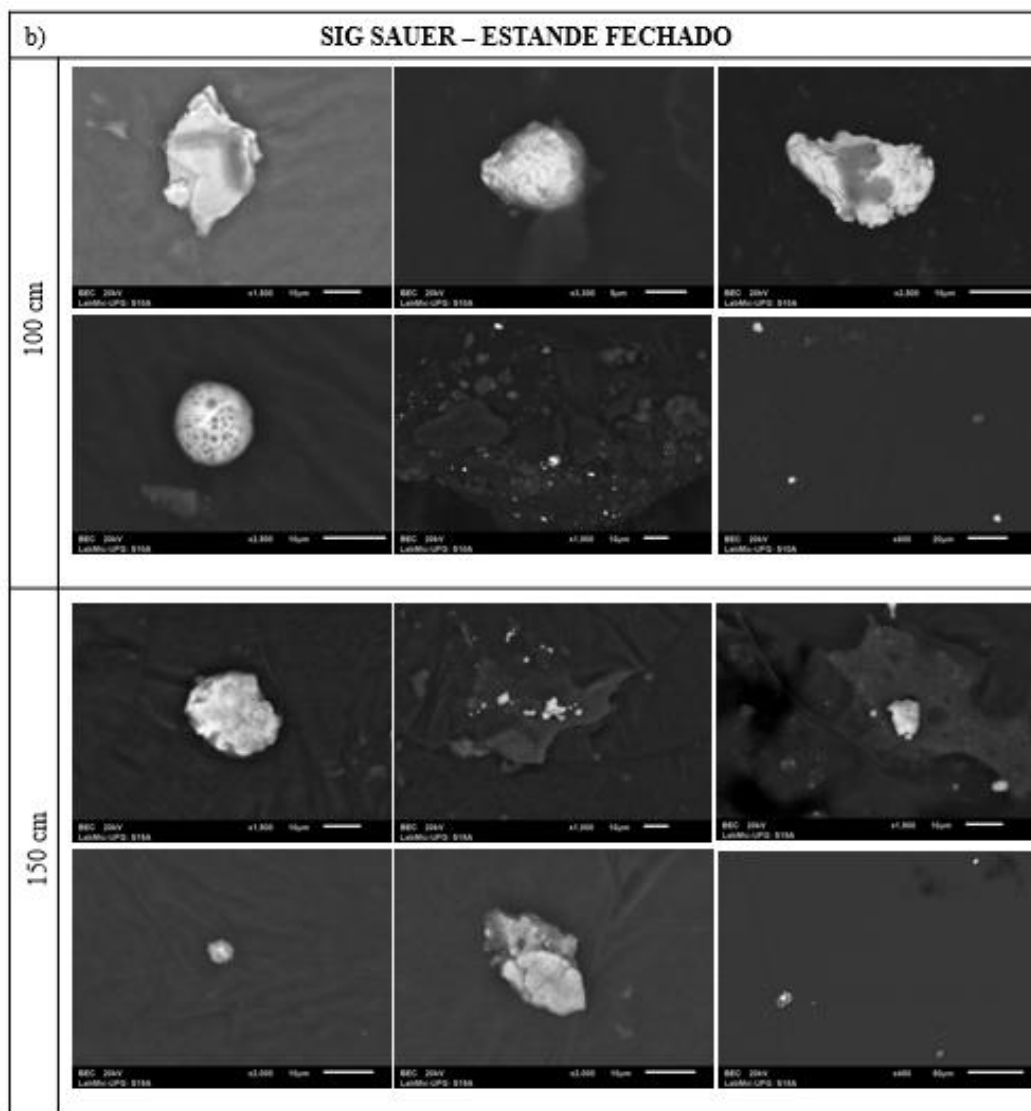
- Nos disparos a 0 cm, observa-se predominância de partículas grandes ($>20\ \mu\text{m}$), com forte adesão ao substrato e morfologia variada, incluindo formatos esféricos e irregulares. Muitas partículas apresentam fusão parcial e porosidade, indicando alta temperatura durante a combustão. (Quadro 20-a);
- A 50 cm, ocorre uma diminuição do tamanho médio das partículas, embora ainda sejam detectadas partículas superiores a $15\ \mu\text{m}$. A dispersão aumenta, mas a presença de partículas esféricas e agregadas sugere que ainda há uma forte deposição dos resíduos próximos ao alvo. (Quadro 20-a);

- Nos disparos a 100 cm, as partículas tornam-se significativamente menores ($<10\ \mu\text{m}$) e mais dispersas no substrato. Há uma notável redução na quantidade de partículas metálicas e maior presença de fragmentos difusos, dificultando a identificação precisa dos resíduos de disparo. (Quadro 20-b);
- A 150 cm, predominam partículas extremamente pequenas ($<5\ \mu\text{m}$), distribuídas de maneira difusa e com baixa adesão ao substrato. A morfologia irregular e a diminuição da densidade dos resíduos indicam uma maior dificuldade na análise forense, uma vez que os resíduos se tornam mais dispersos e menos característicos. (Quadro 20-b).

Como não foi realizada uma análise quantitativa dos elementos químicos não é possível afirmar qual a classificação das geometrias em função do elemento.

Quadro 20 - MEV Sig Sauer estande fechado a) Disparos a 0 e 50 cm e b) Disparos a 100 e 150 cm





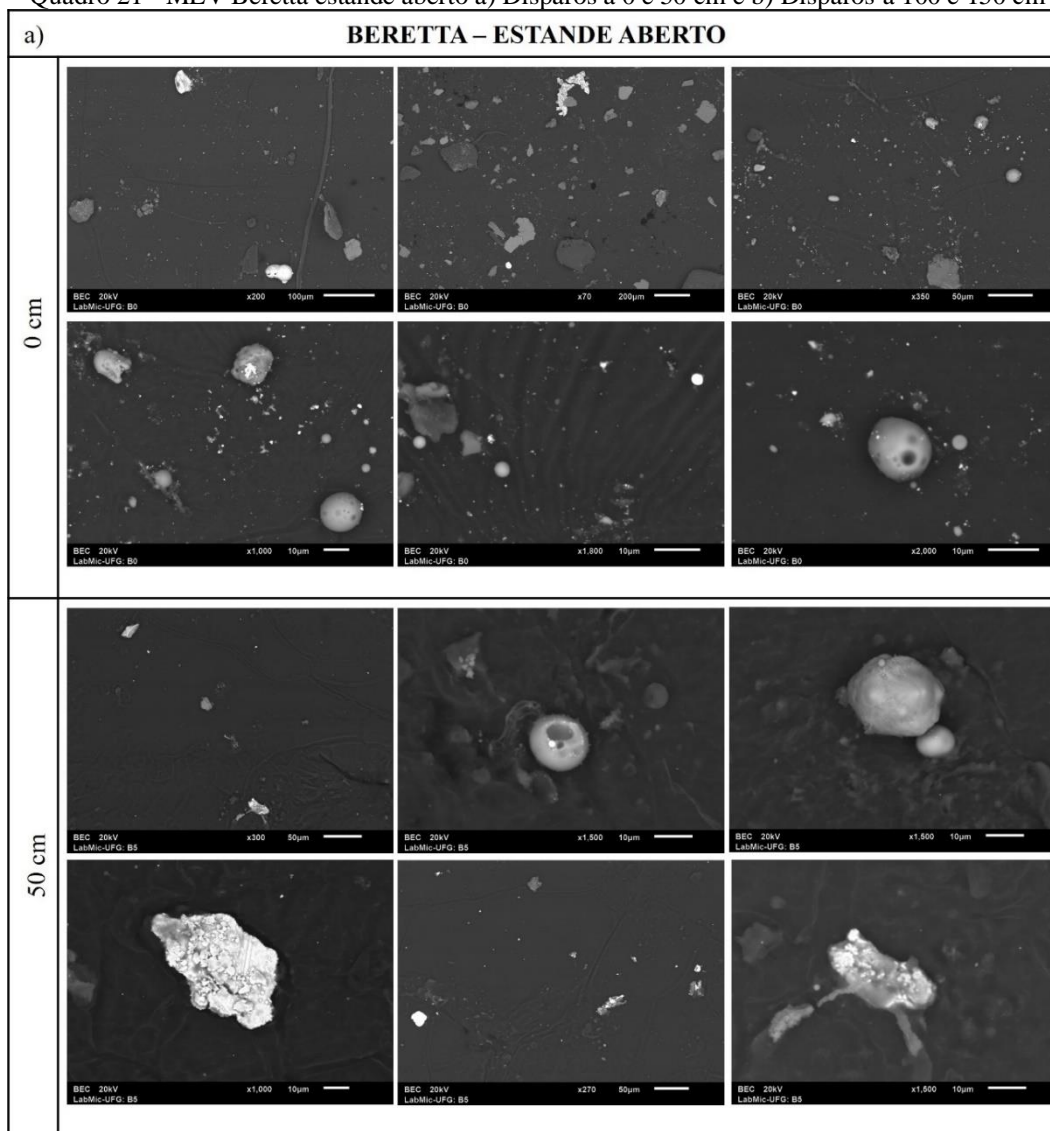
Fonte: Elaborado pela autora.

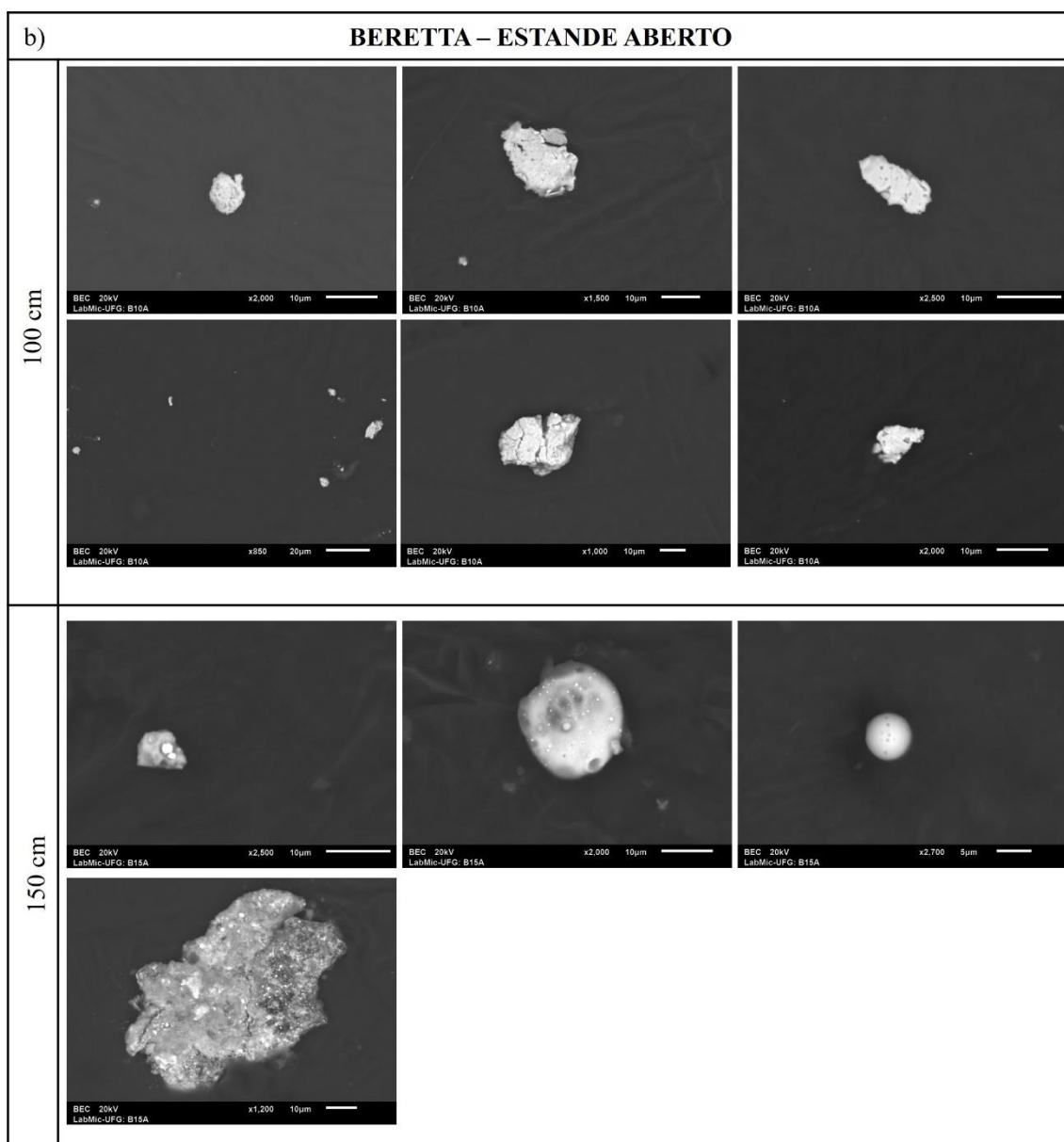
Analisando a morfologia dos resíduos de disparo coletados a diferentes distâncias para Beretta em ambiente aberto permitiu identificar que:

- 0 cm: Predominância de partículas grandes ($>20 \mu\text{m}$), com forte adesão ao substrato. A morfologia das partículas varia entre formatos esféricos e irregulares, muitas apresentando fusão parcial e porosidade, sugerindo exposição a altas temperaturas durante a combustão. (Quadro 21-a);
- 50 cm: Redução do tamanho médio das partículas, embora algumas ainda ultrapassem $15 \mu\text{m}$. Observa-se maior dispersão dos resíduos, mas a presença de partículas esféricas e agregadas indica que ainda ocorre deposição significativa dos resíduos próximos ao alvo. (Quadro 21-a);

- 100 cm: As partículas tornam-se consideravelmente menores ($<10\ \mu\text{m}$) e mais dispersas. Nota-se uma redução expressiva das partículas metálicas e um aumento de fragmentos difusos, tornando mais difícil a identificação precisa dos resíduos de disparo. (Quadro 21-b);
- 150 cm: Predominam partículas extremamente pequenas ($<5\ \mu\text{m}$), distribuídas de maneira difusa e com baixa adesão ao substrato. A morfologia irregular e a diminuição da densidade dos resíduos sugerem um desafio significativo para a análise forense, visto que os resíduos tornam-se mais dispersos e menos característicos. (Quadro 21-b).

Quadro 21 - MEV Beretta estande aberto a) Disparos a 0 e 50 cm e b) Disparos a 100 e 150 cm





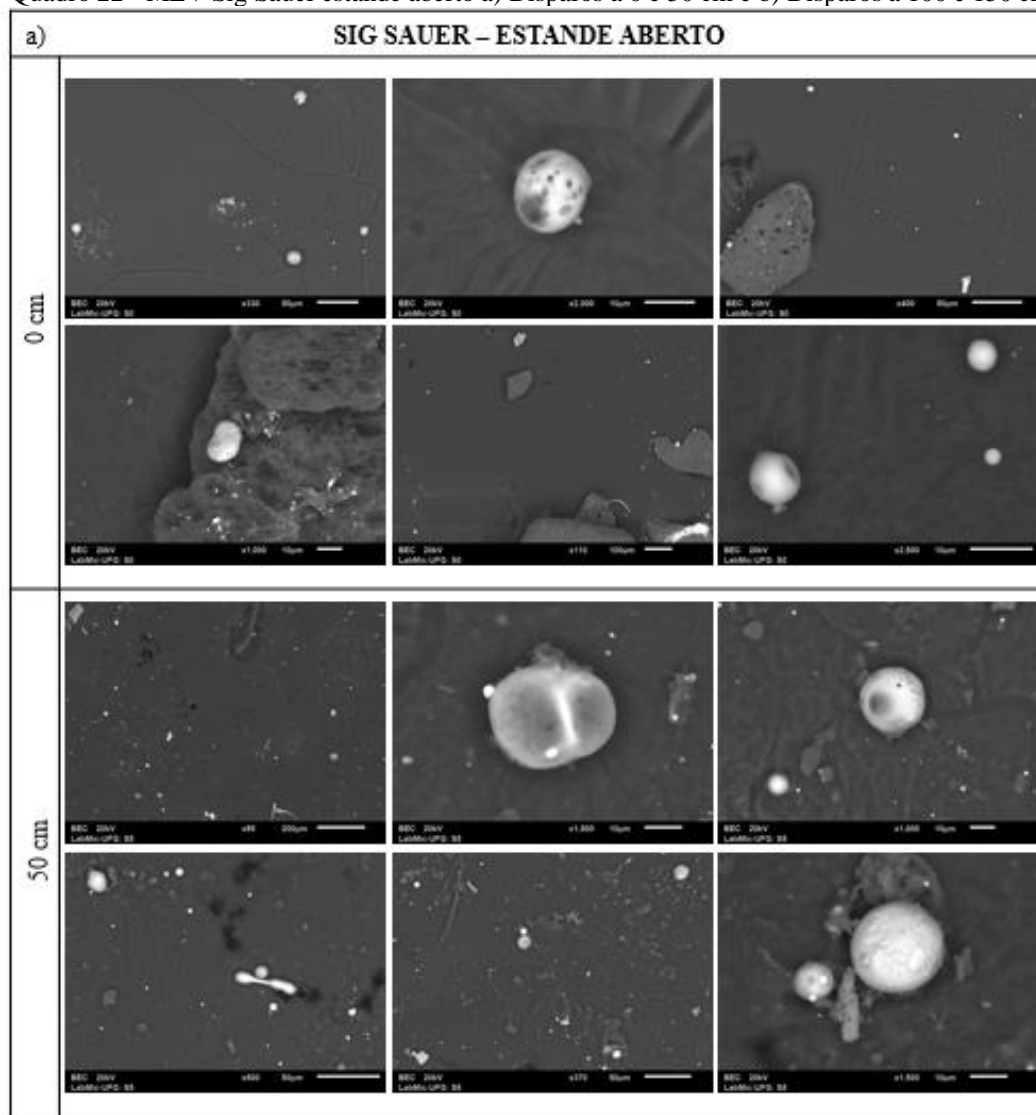
Fonte: Elaborado pela autora.

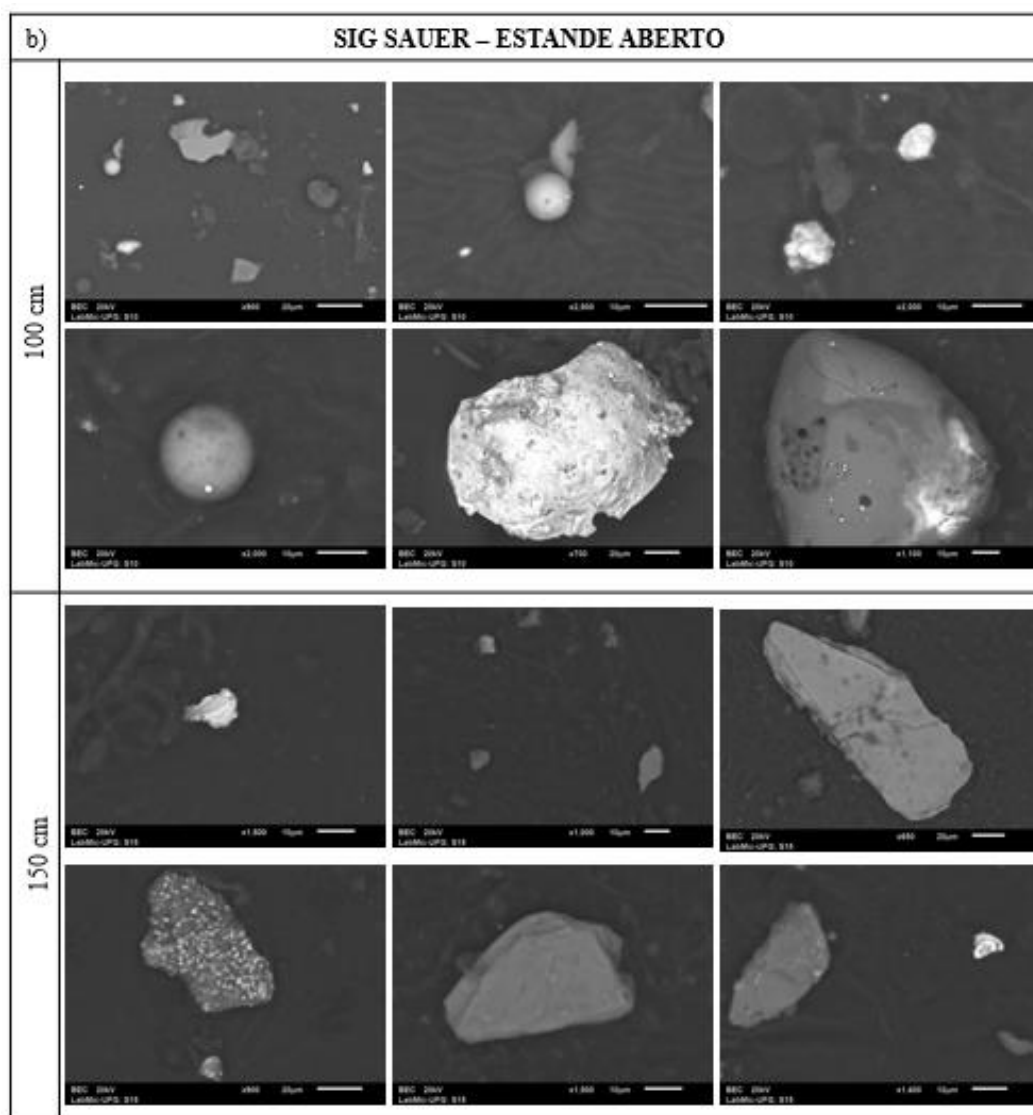
Indo de encontro a análise observada para Beretta em estande aberto, a análise da Sig Sauer em estande aberto mostra que:

- 0 cm: Predominância de partículas grandes ($>20\ \mu\text{m}$), com forte adesão ao substrato, formatos variados (esféricos e irregulares) e sinais de fusão parcial. (Quadro 22-a);
- 50 cm: Redução no tamanho médio das partículas, algumas ainda acima de $15\ \mu\text{m}$, maior dispersão, mas ainda com deposição significativa. (Quadro 22-a);

- 100 cm: Partículas menores ($<10\ \mu\text{m}$), mais dispersas e redução expressiva de partículas metálicas, dificultando a identificação dos resíduos. (Quadro 22-b);
- 150 cm: Predominância de partículas extremamente pequenas ($<5\ \mu\text{m}$), baixa adesão ao substrato e distribuição difusa, tornando a análise forense mais complexa. (Quadro 22-b).

Quadro 22 - MEV Sig Sauer estande aberto a) Disparos a 0 e 50 cm e b) Disparos a 100 e 150 cm





Fonte: Elaborado pela autora.

Os resultados obtidos por MEV e EDS evidenciam a complexidade morfológica e química dos resíduos de disparo de munições livres de chumbo (GSR-NTA), com grande variação conforme a distância e o ambiente do tiro. Em distâncias curtas (0 cm), predominam partículas grandes ($>20 \mu\text{m}$), esféricas e fundidas, fortemente aderidas ao substrato, facilitando a identificação forense. A 50 cm, ocorre uma leve redução no tamanho das partículas, mas ainda há deposição significativa, especialmente em estandes fechados. A partir de 100 cm, os resíduos tornam-se menores ($<10 \mu\text{m}$), dispersos e menos coesos, tornando a identificação mais difícil. Em 150 cm, predominam partículas extremamente pequenas ($<5 \mu\text{m}$), difusas e com baixa adesão, evidenciando a perda

progressiva da coesão dos resíduos, particularmente em estandes abertos, onde a dissipação atmosférica é maior.

A ausência de um padrão morfológico claro, conforme apontado por Carneiro *et al.* (2023), reforça a necessidade de estudos mais aprofundados, considerando que a composição química dos resíduos depende do fabricante e a dispersão dificulta a análise forense. Além disso, a possibilidade de contaminação cruzada deve ser levada em conta na interpretação dos vestígios.

5 CONCLUSÕES

O levantamento bibliográfico demonstrou falta de estudos que explorassem a observação de diferentes suportes (cartolina e pele suína) em distâncias distintas produzidas por pistolas 9x19 mm. Menos ainda quando estritas às fabricantes Beretta e Sig Sauer. Outra lacuna identificada foi a descrição metodológica da estimativa de distância de tiro dos autores que discutem o tema. Dos 230 artigos levantados foram selecionados 41 após filtros descritos e destes foram destacados autores, palavras-chave, países, instituições e revistas sensíveis ao tema.

As investigações que envolvem a balística terminal têm por objetivo criminalístico estimar a dinâmica do fato e, para isso, a estimativa de distância de tiro através da análise residuográfica é de muita valia. Por isso, buscou-se construir um protocolo de experimentação para medir a interferência dos fatores distância entre alvo e atirador, fabricantes e tipos de estande no resultado residuográfico.

Os testes realizados somaram 312 tiros, 156 em pele suína e 156 em cartolina, produtos das triplicatas realizadas para as 13 distâncias, duas fabricantes e dois ambientes. Os suportes com vestígios fotografados compuseram os mapas balísticos de lesões (pele suína) e estatísticas comparativas dos tamanhos das lesões (peles) e dispersão dos vestígios residuográficos (cartolina e pele).

As lesões produzidas tiveram aspectos uniformes, diferenciando-se em tamanho, sendo as maiores quanto mais próxima a arma estivesse do alvo para a Beretta. Já a Sig Sauer não teve um padrão decrescente de tamanho inverso ao aumento da distância e sim uma variação de tamanhos, tanto em estande aberto quanto em estande fechado.

Os residuográficos produzidos variaram muito conforme o suporte. Os produzidos na cartolina mostraram-se uma constante, diminuindo os vestígios conforme aumentava a distância. Já a pele não foi um bom suporte para o residuográfico pois a sua falta de uniformidade interferiu na identificação inequívoca de GSR.

Como complementação ao residuográfico, o exame MEV identificou resíduos de pólvora, fragmentos metálicos e outros elementos atribuídos ao primer ou a contaminantes. Como a munição utilizada era não tóxica o GSR produzido não foi o típico (PbBaSb) e sim uma mistura dos elementos: alumínio, carbono, cloro, enxofre, ferro, fósforo, oxigênio, potássio, silício, sódio e zinco. As análises não foram quantitativas então não foi possível associar as geometrias aos elementos.

Os dados obtidos de tamanho da lesão produzida pelas armas e a contagem de resíduos produzidos foram analisados estatisticamente obtendo a média das triplicatas e destas calculados os desvios padrão e o coeficiente de variação. Procurou-se comparar os resultados com outros estudos, porém não foi encontrado estudo em tais moldes de residuográfico e tamanho de lesões.

Além das médias, desvio padrão e coeficiente de variação, também foram calculados coeficiente de correlação de Pearson e Anova. A produção destas informações teve o objetivo de identificar padrões, relações e interações. Para as cartolinas a distância se mostrou como a variável mais importante, assim como o tamanho das lesões. Já para o residuográfico das peles a distância e o tipo de estande foram os pontos que mais influenciaram nos resultados.

A síntese dos achados de Pearson foi que as lesões simuladas mostraram bom grau de correlação, especialmente no ambiente fechado — indicando que esse pode ser o ambiente mais confiável para simulação de condições reais de disparo em tecido humano. Para a cartolina é o substrato mais estável e consistente para análise de vestígios (altas correlações em todas as condições). Já a pele artificial apresentou alta variabilidade, sendo o substrato mais suscetível a alterações por fabricante e ambiente.

A elaboração do mapa balístico permitiu a comparação entre lesões produzidas levando em conta as três variáveis (distância entre atirador e alvo, fabricantes e tipo de estande), mostrando pouca diferença no aspecto variando somente a geometria e o tamanho destas. Tais tamanhos se mostraram mais uniformes em estande aberto que em estande fechado.

Já o mapa de microscopia eletrônica demonstrou que os formatos encontrados eram diferentes do GSR típico, porém, como a metodologia de análise não foi quantitativa, não foi possível relacionar as geometrias a elementos específicos. Os dados foram consistentes entre estandes e fabricantes, variando com o aumento das distâncias. A deposição dos vestígios foi menor em estande aberto que no fechado o que implica que a corrente de ar pode influenciar na concentração dos GSR.

Os elementos Cl, Na, S, C e O foram relacionados como componentes de combustão, Cu, Zn, Ti e Fe aos fragmentos metálicos dos cartuchos e projéteis, Al, Si e K foram relacionados ao primer, já W e P à contaminação. As análises se tornam desafiadoras conforme aumenta a distância.

A lacuna científica reforça a necessidade de experimentos para pistolas 9x19 mm para a investigação de características das lesões e de residuograma (desprendimento de vestígios balísticos). Os resultados podem aperfeiçoar os experimentos forenses realizados diariamente em laboratórios balísticos. O que se pode observar foi o estabelecimento para os cenários experimentados do limite para a curta distância em 70 cm. O residuográfico teve sucesso para o suporte cartolina e não para a pele suína, corroborados pelas análises estatísticas realizadas. Os achados da MEV/EDS reforçam os estudos sobre NTA e suas diferenças das munições convencionais, exigindo análises para diferentes fabricantes para identificação da composição dos resíduos. Os mapas construídos ilustram os resultados obtidos tanto para o aspecto das lesões quanto para as análises da MEV/EDS.

6 TRABALHOS FUTUROS

A fim de complementar a lacuna diagnosticada neste estudo são sugeridos:

- a) Realização de testes em simuladores de peles mais uniformes tais como peles sintéticas;
- b) Utilização de munição convencional para a experimentação nos mesmos cenários;
- c) Comparação entre munições NTA e convencionais de mesmo fabricante – desprendimentos, energia e velocidade;
- d) Aplicação de diferentes tipos de projéteis, com e sem camisa;
- e) Realização de MEV quantitativo para a determinação de geometria relacionando ao elemento.

ANEXO

ANEXO A – Declaração comitê de ética animal



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E INOVAÇÃO
COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS-CEUA

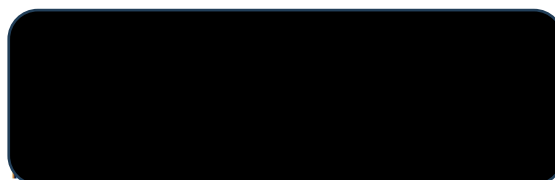


DECLARAÇÃO

Declaramos que o projeto “ANÁLISE COMPARATIVA DO COMPORTAMENTO DE FERIDAS NA BALÍSTICA TERMINAL DAS PISTOLAS SIG SAUER E BERETTA 9mm”, sob a responsabilidade do Pesquisador(a) Prof(a). Dr(a). **Fernanda Christina Teotonio Dias Troysi** será um projeto que utilizará carcaças de suínos na avaliação da balística terminal e, portanto, não se faz necessária a avaliação e análise da Comissão de Ética no Uso de Animais (CEUA).

Informamos que esta declaração está de acordo com o disposto na Lei nº. 11.794 de 08/10/2008, e Resolução Normativa nº 51, de 19/05/2021 do Conselho Nacional de Controle de Experimentação Animal - CONCEA.

Goiânia, 29 de novembro de 2023.



Coordenadora CEUA

REFERÊNCIAS

ALI, LEAH; BROWN, Kyle.; CASTELLANNO, Holly; WETZEL, Stephanie J. A study of the presence of gunshot residue in Pittsburgh police stations using SEM/EDS and LC-MS/MS. **Journal of forensic sciences**, v. 61, n. 4, p. 928-938, 2016.

ALISTE, Marina; ARRANZ, Sandra; SÁNCHEZ-ORTEGA, Alicia; SAMPEDRO, Carmen; UNCETA, Nora; GÓMES-CABALLERO, Alberto; VALLEJO, Asier; GOICOLEA, Maria A.; BARRIO, RJ. Particle analysis for the detection of gunshot residue (GSR) in nasal samples using scanning laser ablation and inductively coupled plasma-mass spectrometry (SLA-ICPMS). **Journal of Forensic Sciences**, v. 65, n. 4, p. 1094-1101, 2020.

ALVAREZ-VELASCO, Carla-Morena. Armas de fogo em América Latina: uma sociedade sem conflito, mas sem paz. **Revista Latinoamericana de Estudos de Segurança - URVIO**, n. 32, p. 60-75, abr. 2022. Disponível em <http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1390-42992022000100060&lng=es&nrm=iso>. Acesso em: 29 fev. 2024.

ALVES, André Montanini. Balística Forense: Armas de fogo, munições e o confronto microbalístico. In: ISSA, João Paulo Mardegan (Org.). **Tratado de Balística: bases técnico-científicas médico-legais e aplicações periciais**. Org. ISSA, João Paulo Mardegan. 1. Ed. São Paulo: Santos Publicações, 2023. p. 242-362.

ALVES, André Montanini; PICOLI, Fernando Fortes; SILVEIRA, Rubens Jorge; RODRIGUES, Lívia Grazielle; LENHARO, Sara Lais Rahal; SILVA, Rhonan Ferreira Silva; FRANCO, Ademir. When forensic radiology meets ballistics—in vivo bullet profiling with computed tomography and autopsy validation: a case report. **Forensic Imaging**, v. 20, p. 200357, 2020.

ANDERS, Destiny H.; MILLER, Sabrina A.; GRAZIANO, Carl R.; CASTELLAMO, Joseph; CONTE, Jillian. Technical note: Presence of gunshot residue in and around a police station. **International journal of legal medicine**, v. 134, p. 2195-2198, 2020.

ARAGÓN-SÁNCHEZ, Javier; QUINTANA-MARRERO, Yurena; ARAGÓN-HERNÁNDEZ, Cristina; HERNÁNDEZ-HERERO, María José. ImageJ: A Free, Easy, and Reliable Method to Measure Leg Ulcers Using Digital Pictures. **The International Journal of Lower Extremity Wounds**, London, vol. 16(4), pp. 269–273, dec. 2017. Disponível em: <<http://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/pt/mdl-29251541>>. Acesso em: 07 out. 2018.

AROUCA, Aline Marcelino. **Estudo da aplicabilidade dos marcadores luminescentes de disparos de armas de fogo**. 2016. Dissertação. Disponível em: <https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/22787/1/2016_AlineMarcelinoArouca.pdf>. Acesso em: 26 out. 2023.

BANDEIRA, Antônio Rangel; BOURGOIS, Josephine. **Armas de fogo: proteção ou risco?** Rio de Janeiro: Viva Rio, 250 p., 2005.

- BAPTISTA, Marcus Vinicius. **Contribuição ao estudo diagnóstico dos ferimentos pérfuro-contusos por projéteis de arma de fogo civil na pele humana com enfoque histopatológico**. 2007. Disponível em: <https://bdtd.famerp.br/bitstream/tede/32/1/marcusviviciusbaptista_dissert.pdf>. Acesso em: 12 fev. 2024.
- BARRERA, Vera; FLISS, Barbara; PANZER, Sabine; BOLLIGER, Stephan A. Gunshot residue on dark materials: a comparison between infrared photography and the use of an alternative light source. **International journal of legal medicine**, v. 133, p. 1115-1120, 2019.
- BENZAQUEN, Daniel; MANDEL, Micha; ISRAELSOHN AZULAY, Osnat; ZIDON, Yigal; COHEN, Yaron. A mixture model for the number of gunshot residues found on suspects' hands. **Journal of Forensic Sciences**, v. 65, n. 4, p. 1114-1119, 2020.
- BERK, Robert E; ROCHOWICZ, Scott A.; WONG, Mary; KOPINA, Michael A. Gunshot residue in Chicago police vehicles and facilities: an empirical study. **Journal of forensic sciences**, v. 52, n. 4, p. 838-841, 2007.
- BLAKEY, Lauren; SHARPLES, George P.; CHANA, Kal; BIRKETT, Jason W. Fate and behavior of gunshot residue: recreational shooter vehicle distribution. **Journal of forensic sciences**, v. 64, n. 6, p. 1668-1672, 2019.
- BOSCO, João. **Calibres de alta energia ou calibres de alta velocidade? Parte III. Infoarmas**. 2024. Disponível em: <<https://infoarmas.com.br/calibres-de-alta-energia-ou-calibres-de-alta-velocidade-parte-iii/>>. Acesso em: 15 mar. 2024.
- BERETTA DO BRASIL. **Pistola APX**. Disponível em: <<https://www.berettadobrasil.com.br/apx-cal-9x19-mm.html>>. Acesso em: 15 mar. 2024.
- BREEZE, John; SEDMAN, Andrew J.; JAMES, G.R.; NEWBERY, T. W.; HEPPER, A. E. Determining the wounding effects of ballistic projectiles to inform future injury models: a systematic review. **BMJ Military Health**, 2013.
- CARNEIRO, Caroline Ribeiro. **Avaliação da diferenciação de MOFS e LGSR por meio dos espectros de luminescência do Eu³⁺ utilizando técnicas quimiométricas**. 2020. Disponível em: <<http://www.rlbea.unb.br/jspui/handle/10482/36980>>. Acesso em: 20 dez. 2024.
- CARNEIRO, Caroline R.; LUCENA, Marcella A. M; SANTOS-SILVA, Carolina; WEBER, Ingrid T. Nontoxic ammunition: Challenges and perspectives for GSR identification. **Wiley Interdisciplinary Reviews: Forensic Science**, v. 5, n. 3, p. e1477, 2023.
- CARVALHO, Marcela Albino de. **Utilização da análise de imagem hiperespectral no infravermelho próximo para identificação de marcadores luminescentes a base de redes metalorgânicas MOF**. 2015. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco. Disponível em: <

<https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/31766/1/DISSERTA%20c3%87%20c3%83%20Marcela%20Albino%20de%20Carvalho.pdf>>. Acesso em: 11 mar. 2024.

CAUCHIK, P. A. M.; SOUSA, R. **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**. 2ª edição. São Paulo: Campus, 2012.

CERQUEIRA, Daniel; BUENO, Samira (coord.). **Atlas da violência 2023**. Brasília: Ipea; FBSP, 2023. DOI: <https://dx.doi.org/10.38116/riatlasdaviolencia2023>. Disponível em: < <https://www.ipea.gov.br/atlasviolencia/publicacoes/250/atlas-da-violencia-2023> >. Acesso em: 16 set. 2024.

CERQUEIRA, Daniel Ricardo de Castro; COELHO, Danilo Santa Cruz. **Mapa das armas de fogo nas microrregiões brasileiras**. In: Boueri, Rogério; Costa, Marco Aurélio. (Ed.) *Brasil em Desenvolvimento 2013: Estado, Planejamento e Políticas Públicas*. Brasília: IPEA, v. 3, pp. 899–913, 2013.

CHARLES, Sébastien; GEUSENS, Nadia. A study of the potential risk of gunshot residue transfer from special units of the police to arrested suspects. **Forensic science international**, v. 216, n. 1-3, p. 78-81, 2012.

CHOJI, Cristiano Hayoshi; GALVÃO, Malthus Fonseca; DE FELICE JUNIOR, José; BERNARDES, Raphael Adilson; PENAZZI, Telma de Carvalho; VALEJO, Fernando Antônio Mourão; FERRO, Rodrigo Sala; ROSALES, Vitória Rosa; FORCELINI, Jaqueline Neves; BUENO, Caique Montanholi; GARCIA, Beatriz Mazzaro; SOUSA, Raysla Abib Salomão Queiroz. Características dos achados secundários do disparo para a determinação Médico Legal da arma Characteristics of the secondary findings of the shot for the Forensic Doctor determination of the weapon. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 10, p. 98164-98180, 2021.

COHLE, Stephen D.; CRUMP, Jeff. Unusual soot pattern from suicidal handgun wound. **Journal of forensic sciences**, v. 67, n. 2, p. 802-805, 2022.

COMPANHIA BRASILEIRA DE CARTUCHOS. **9mm EOOG 124gr NTA**. Disponível em: < <https://www.cbc.com.br/produto/mun-cbc-9mm-luger-eoog-124gr-nta-es-c/> >. 2024a. Acesso em: 19 set. 2024.

COMPANHIA BRASILEIRA DE CARTUCHOS. **Projéteis**. Disponível em: < <https://www.cbc.com.br/projeteis/> >. 2024b. Acesso em: 11 fev. 2024.

CONTI, Thomas. **Dossiê Armas, Crimes e Violência: o que nos dizem 61 pesquisas recentes**. Disponível em: < <https://thomasvconti.com.br/2017/dossie-armas-violencia-e-crimes-o-que-nos-dizem-61-pesquisas-recentes/> >. Acesso em: 15 mar. 2024.

_____. The field of interior ballistics. In: CORNER, John. **Theory of the interior ballistics of guns**. New York: John Wiley e Sons; 1950. p. 1-23.

CROCE, Delton; CROCE JUNIOR, Delton. Causalidade médico-legal do dano. In: CROCE, Delton. **Manual de medicina legal**. 8. ed. São Paulo: Saraiva; 2012. p. 295-430.

DA SILVA, Anderson Matheus Pereira; EVANGELISTA, Victoria Brito; DA SILVA, Ilan Iginio; DE SOUSA VIEIRA, Victória Freitas; MARIANO, Thamires Ferreira; de MESQUITA JÚNIOR, José Wilson Cosme; ALVES, Caio Samuel de Oliveira; DA SILVA, Vinícius Pereira; ANDRADE, Ikaro Alves; DIAS, Kendric Mariano Damasceno; OYARZÚN, Katherinne Patrícia Saraiva Iginio; MENDES, Vinícius Silveira; MACHADO, Keyla Liana Bezerra. Abordagens e técnicas para a avaliação in vitro de nanopartículas contendo 5-fluorouracila no tratamento do melanoma: uma revisão de literatura. **Revista CPAQV-Centro de Pesquisas Avançadas em Qualidade de Vida**, v. 16, n. 2, p. 17-17, 2024.

DE CASTRO, Nyali Rosa; URBANO, Eduardo Stehling. **A importância do odontologista na análise de injúrias faciais decorrentes de projéteis de arma de fogo**. Conselho Editorial, p. 72. 2021. Disponível em: <https://web.archive.org/web/20211013205736id_/https://doi.editoracubo.com.br/10.4322/978-65-995353-2-1#page=71>. Acesso em: 07 mar. 2024.

DE OLIVEIRA SOUSA, Meiriane da Penha; SILVA, Thiago Henrique Costa; DE QUEIROZ, Joicy Ferreira. Análise descritiva e comparativa dos laboratórios de balística forense do Centro-Oeste brasileiro: aspectos de infraestrutura e gestão. **Revista Brasileira de Segurança Pública**, v. 17, n. 2, p. 312-331, 2023.

DE QUEIROZ, Joicy Ferreira. INFLUÊNCIA DO TIPO DE MUNIÇÃO NAS CARACTERÍSTICAS DAS LESÕES PRODUZIDAS POR ARMAS DE FOGO. **Acta de Ciências e Saúde**, v. 1, n. 1, p. 1-4, 2016.

DONGHI, Matteo; ORSENIGO, Stefano; NIEWOEHNER; BARTH, Martin; FIOCCHI, Constantino; POMI, Andrea. A new ammunition for forensic needs: FIOCCHI-RIS. **Forensic Chemistry**, v. 13, p. 100159, 2019.

DONOHUE, J. J.; ANEJA A.; WEBER, K. D. Right-to-carry laws and violent crime: a comprehensive assessment using panel data and a state-level synthetic control analysis. **Journal of Empirical Legal Studies**, v. 16, n. 2, 198–247, Apr.2019.

DUARTE, A.; SILVA, L. M; DE SOUZA, C. T.; STORI, E. M.; BOUFLEUR, L. A., AMARAL, L.; DIAS, J. F. Elemental quantification of large gunshot residues. **Nuclear instruments and methods in Physics research section B: Beam interactions with materials and atoms**, v. 348, p. 170-173, 2015.

DURÃO, Carlos Henrique; MACHADO, Marcos Paulo Salles. Lesões típicas e seus epônimos em balística forense. **Revista Brasileira de Odontologia Legal**, v. 2, n. 2, 2015.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. Processo de Limpeza para Reutilização de Porta-amostras de Microscópio Eletrônico de Varredura. Fortaleza, Ceará. Fevereiro, 2016. 4 p. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1038108/1/COT16001.pdf>>. Acesso em: 30 mar. 25.

FACKLER, Martin L. Gunshot wound review. **Annals of emergency medicine**, v. 28, n. 2, p. 194-203, 1996.

FACKLER, Martin L. Reporting Reserch. **Journal International Wound Ballistics Association Spring**, Pinole, v. 5, n. 1, p. 20-11. 2001a.

FACKLER, Martin L. What's wrong with the wound ballistics literature, and why. **Journal International Ballistics Association Spring**, São Francisco, v. 5, n. 1, p. 37-47. 2001b.

FACKLER, MARTIN L.; BELLAMY, RONALD F.; MALINOWSKI, JOHN A. A reconsideration of the wounding mechanism of very high velocity projectiles—importance of projectile shape. **Journal of Trauma and Acute Care Surgery**, v. 28, n. 1, p. 63-67, 1988.

FACKLER, Martin L; SURINCHAK, J. S.; MALINOWSKI, J. A.; BOWEN, R. E. Bullet fragmentation: a major cause of tissue disruption. The **Journal of trauma**, v. 24, n. 1, p. 35-39, 1984a.

FACKLER, Martin L; SURINCHAK, J. S.; MALINOWSKI, J. A.; BOWEN, R. E. Wounding potential of the Russian AK-74 assault rifle. **Journal of Trauma and Acute Care Surgery**, v. 24, n. 3, p. 263-266, 1984b.

FERNANDES, João Pedro Ferreira. **Balística terminal: estudo do comportamento de projéteis na estrutura de viaturas**. 2019. Tese de Doutorado. Disponível em: < <https://comum.rcaap.pt/bitstream/10400.26/30333/1/Disserta%c3%a7%c3%a3o%20Final%20Jo%c3%a3o%20Fernandes.pdf> >. Acesso em: 26 out. 2023.

FERRO, Rodrigo Sala; DOMINGOS, Mayéli Pereira; DE CARVALHO PENAZZI, Telma; JUNIOR, José Otávio de Félice; BERNARDES, Raphael Adilson; CHOJI, Cristiano Hayoshi; VALEJO, Fernando Antônio Mourão; PANUCCI, Luís Antônio Gilberti. Análise de resíduos de pólvora como achados secundários na análise da distância do tiro de arma de fogo para medicina legal. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 11, p. 85884-85891, 2020.

FÓRUM BRASILEIRO DE SEGURANÇA PÚBLICA. 17º Anuário Brasileiro de Segurança Pública. São Paulo: **Fórum Brasileiro de Segurança Pública**, 2023. Disponível em: <https://forumseguranca.org.br/wp-content/uploads/2023/07/anuario-2023.pdf>. Acesso em: 12 fev. 2024.

FÓRUM BRASILEIRO DE SEGURANÇA PÚBLICA. Armas de Fogo e Homicídio no Brasil. São Paulo: **Fórum Brasileiro de Segurança Pública**, 2022. Disponível em: < <https://apidspace.universilab.com.br/server/api/core/bitstreams/ca9aee34-482a-4b75-a4b4-2f0006d96d61/content> >. Acesso em: 15 mar. 2024.

Medicina legal. In: FRANÇA, Genival Veloso. **Traumatologia médico-legal**. 11. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan; 2018. p. 101-230.

FRANK, Paulo Ricardo Ost. **Caracterização dos resíduos de disparo e das alterações em fibras de tecidos atingidos por tiros de arma de fogo com microscopia eletrônica de varredura e espectrometria de raios X característicos**. 2016.

Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Ciências das Materias da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

FRENCH, James; MORGAN, Ruth; DAVY, James. The secondary transfer of gunshot residue: an experimental investigation carried out with SEM-EDX analysis. **X-Ray Spectrometry**, v. 43, n. 1, p. 56-61, 2014.

GALLIDABINO, M.; ROMOLO, F. S.; BYLENGA, K.; WEYERMANN, C. **Development of a Novel Headspace Sorptive Extraction Method to Study the Aging of Volatile Compounds in Spent Handgun Cartridges**. *Anal. Chem.* 2014, 86 (9), 4471–4478.

GALVÃO, Malthus Fonseca. Sistema de apoio a aprendizagem da disciplina medicina legal e deontologia na Universidade de Brasília. 2008. Disponível em: <<https://malthus.com.br/default.asp#set>>. Acesso em: 17 set. 2024.

GAROFANO, Luciano; CAPRA, Maria Elena; FERRARI, Francesco; BIZZARO, GP; DI TULLIO, Donatello; DELL'OLIO, M.; GHITTI, A. Gunshot residue: further studies on particles of environmental and occupational origin. **Forensic Science International**, v. 103, n. 1, p. 1-21, 1999.

GASCHO, Domini; MAROSI, Mária; THALI, Michael. J.; DEININGER-CZERMAK, Eva. Postmortem computed tomography and magnetic resonance imaging of gunshot wounds to the neck. **Journal of forensic sciences**, v. 65, n. 4, p. 1360-1364, 2020a.

GASCHO, Dominic; TAPPERO, Carlo; ZOELCH, Niklaus; DEININGER-CZERMAK, Eva; RICHTER, Henning; THALI, Michael. J.; SCHAERLI, Sarah. Synergy of CT and MRI in detecting trajectories of lodged bullets in decedents and potential hazards concerning the heating and movement of bullets during MRI. **Forensic Science, Medicine and Pathology**, v. 16, p. 20-31, 2020b.

GASSNER, Anne-Laure; MANGANELLI, Manuela; WERNER, Denis; RHUMORBARBE, Damien; MAITRE, Matthieu; BEAVIS, Alison; ROUX, Claude; WEYERMANN, Céline. Secondary transfer of organic gunshot residues: Empirical data to assist the evaluation of three scenarios. **Science & Justice**, v. 59, n. 1, p. 58-66, 2019.

GENTILE, Guendalina; TAMBUZZI, Stefano; ANDREOLA, Salvatore; BORACCHI, Michele; GIBELLI, Ludovica; MIGLIORINI, Arnaldo Stanislao; ZOJA, Riccardo. Is it possible to detect lead derived from gunshot residues on decalcified human bone by means of a histochemical staining with sodium rhodizonate? **Forensic Science International**, v. 316, p. 110474, 2020.

GIALAMAS, Dean M.; RHODES, Edward F.; SUGARMAN, L. A. Officers, their weapons and their hands: an empirical study of GSR on the hands of non-shooting police officers. **Journal of forensic sciences**, v. 40, n. 6, p. 1086-1089, 1995.

GIORGETTI, Arianna; PERDEKAMP, M. Große; MIERDEL, Katrin; THOMA, V.; POLLAK, Stefan; GEISENBERGER, Dorothee. Arrow entrance wounds with blackened margins simulating bullet wipe. **International journal of legal medicine**, v. 134, p. 283-294, 2020.

GOIÁS. **Estatísticas criminais e de produtividade – Estado de Goiás**. <<https://goias.gov.br/seguranca/wp-content/uploads/sites/56/2024/02/estatisticas-de-2022.pdf>>. 2024a. Acesso em: 19 set. 2024.

GOIÁS. **Memorando Circular nº 2/2020** – SPTC. Processo SEI 202000016002519.

GOIÁS. **Vitimização e Morte por intervenção de agente de Segurança Pública**. <<https://goias.gov.br/seguranca/wp-content/uploads/sites/56/2024/02/estatisticas-de-2019-2020-2021-2022-e-2023.pdf>>. 2024b. Acesso em: 19 set. 2024.

GOUDSMITS, Ellen; BLAKEY, Lauren S.; CHANA, Kal; SHARPLES, George P.; BIRKETT, Jason W. The analysis of organic and inorganic gunshot residue from a single sample. **Forensic science international**, v. 299, p. 168-173, 2019.

Distance and orientation derived from gunshot Residue Patterns. *In*: HAAG, Michael G.; HAAG, Lucien C. **Shooting incident reconstruction**. Academic press, 2020a. p. 67-86.

Some useful reagents and their application. *In*: HAAG, Michael G.; HAAG, Lucien C. **Shooting incident reconstruction**. Academic press, 2020b. p. 87-104.

HALLETT, Joshua; STOLK, Michael; COOK, Michael; KIRKBRIDE, K. Paul. Examination of gunshot residue arising from shotgun cartridges containing steel, bismuth or tungsten pellets. **Forensic science international**, v. 306, p. 110096, 2020.

HAMBY, James E; BRUNDAGE, David J.; PETRACO, Nicholas; THORPE, J. W. A worldwide study of bullets fired from 10 consecutively rifled 9 MM RUGER pistol barrels—analysis of examiner error rate. **Journal of forensic sciences**, v. 64, n. 2, p. 551-557, 2019.

HARSHEY, Abhimanyu; DAS, Tanurup; SRIVASTAVA, Ankit. Analytical contributions of lanthanide based metal-organic frame works as luminescent markers: recent trends in gunshot residue analysis. **Microchemical Journal**, v. 154, p. 104597, 2020.

HEARD, Brian J.; **Handbook of Firearms and Ballistics: examining and interpreting forensic evidence**; 2nd Ed.; Wiley and Sons: Chichester UK, 2008.

HENWOOD, Bailey J.; OOST, Tracy S.; FAIRGRIEVE, Scott I. Bullet caliber and type categorization from gunshot wounds in *Sus scrofa* (linnaeus) long bone. **Journal of forensic sciences**, v. 64, n. 4, p. 1139-1144, 2019.

HÉRCULES, Hygino Carvalho. Lesões por projéteis de alta energia. **Saúde Ética & Justiça**, v. 2, n. 1, p. 15-32, 1997.

HOLMES, Robert H. Wound ballistics and body armor. **Journal of the American Medical Association**, v. 150, n. 2, p. 73-78, 1952.

HOGG, Seth R. **Analysis of lead-free ammunition by scanning electron microscopy using energy dispersive x-ray spectroscopy and discrimination of samples using principal components analysis**. Michigan State University: MSc Thesis, 2013.

HUMPHREY, Caitlin; KUMARATILAKE, Jaliya. Ballistics and anatomical modelling—A review. **Legal Medicine**, v. 23, p. 21-29, 2016.

JANZON, Bo; SEEMAN, Torsten. Muscle devitalization in high-energy missile wounds, and its dependence on energy transfer. **Journal of trauma and acute care surgery**, v. 25, n. 2, p. 138-144, 1985.

JANZON, Bo; SCHANTZ, Birger; SEEMAN, Torsten. Scale effects in ballistic wounding. **Journal of Trauma and Acute Care Surgery**, v. 28, n. 1, p. S29-S32, 1988.

JENNINGS, Rosalind M.; MALBON, C.; BROCK, Fiona; HARRISON, Stuart; CARR, Debra. Preliminary study into the skeletal injuries sustained to the spine from posterior non-perforating ballistic impacts into body armour. **BMJ Military Health**, 2018.

JÚNIOR, Ézio Sargentini; SOUZA, Anita Pereira de; BOLSON, Marcos Alexandre; GAMA, Christian Anderson Ferreira da. Determinação de pb em resíduo de disparo de arma de fogo por espectrometria de absorção atômica com atomização. **Scientia Amazonia**. Volume 2, Pags. 40-46, 2013.

JÚNIOR, Lowry Tschaikowski de Mattos Reis. **Estudo dos calibres de munição para pistola adequados às operações em ambiente urbano durante a intervenção federal no Rio de Janeiro em 2018**. 2020. Disponível em: <<https://bdex.eb.mil.br/jspui/bitstream/123456789/8481/1/Cap%20Tschaikowski%20-%20Cav%202020.pdf>>. Acesso em: 11 fev. 2024.

KOMENDA, Jan; HEJNA, Petr; RYDLO, Martin; NOVÁK, M; KRAJSA, Jan; RACEK, František; REJTAR, Pavel; JEDLIČKA, Luděk. Forensic and clinical issues in the use of frangible projectile. **Journal of forensic and legal medicine**, v. 20, n. 6, p. 697-702, 2013.

LAZA, Désiré; Nys, Bart; Kinder, Jan de. De; Kirsch-De Mesmaeker, Andrée; Moucheron, Cécile. Development of a Quantitative LC-MS/MS Method for the Analysis of Common Propellant Powder Stabilizers in Gunshot Residue. **J. Forensic Sci.** 2007, 52 (4), 842–850.

LEE, Lois K.; FLEEGLER, Eric W.; FARRELL, Caitlin; AVAKAME, Elorm; SRINIVASAN, Saranya; HEMENWAY, David; MONUTEAUX, Michael C. Firearm

laws and firearm homicides: a systematic review. **Journal of the American Medical Association – JAMA Internacional Medicine**, v. 177, n. 1, p. 106-119, 1 jan. 2017.

LEONCINI, Francesco. Lesioni per armi di fuoco. *In*: BORRI, Lorenzo; CEVIDALLI, Attilio; LEONCINI, Francesco. **Trattato di medicina legale**. Vallardi, 1922.

LIMA, Renato Sérgio; BUENO, Samira; ALCADIPANI, Rafael. Evolução das mortes violentas intencionais no Brasil. *In*: FÓRUM BRASILEIRO DE SEGURANÇA PÚBLICA – FBSP. **Anuário Brasileiro de Segurança Pública 2021**. São Paulo: FBSP, 2021, p. 21-35. Disponível em: <<https://forumseguranca.org.br/wp-content/uploads/2021/07/1-evolucao-das-mortes-violentas-intencionais-no-brasil.pdf>>. Acesso em: 12 fev. 2024.

LOCHE, Adriana. A letalidade da ação policial: parâmetros para análise. **Revista Tomo**, n. 17, p. 39-56, 2010.

LUCENA, Marcella Auxiliadora de Melo. Síntese, **Caracterização e Avaliação do Sistema ZnAl₂O₄: TR₃₊ como Marcador Luminescente para Resíduo de Tiro**. 2012. Dissertação de mestrado. Centro de Ciências Exatas e da Natureza da Universidade Federal de Pernambuco, Recife.

LUX, Constantin; TAUBE, Lucy; VERHOFF, Marcel A.; KURSCHEID, Sonja; ZÖLLER-HUSE, Gabriele; WELKERLING, Stephan; SCHUMACHER, Rüdiger; NEIMKE, Dieter; KETTNER, Mattias. Feasibility of an accelerated PVAL method for the collection of GSR and biological traces. **International Journal of Legal Medicine**, v. 134, p. 1051-1059, 2020.

MAIA, Francisco Sílvio; MARQUES, Margarida Correia; MACEDO, André Casimiro de Macedo; MATOS, Carlos Costa; Rocha, Maria Valderez Ponte. Analysis of gunshot residues from nontoxic ammunition: a contribution to health and environmental analysis. **Journal of Environmental Science and Health, Part A**, v. 57, n. 6, p. 427-435, 2022

MAIDEN, Nick. Historical overview of wound ballistics research. **Forensic science, medicine, and pathology**, v. 5, p. 85-89, 2009.

MARTINY, Andrea; CAMPOS, Andrea P. C.; SADER, Márcia S.; PINTO, André L. SEM/EDS analysis and characterization of gunshot residues from Brazilian lead-free ammunition. **Forensic Science International**, v. 177, n. 1, p. e9-e17, 2008.

MARTINY, Andrea; PINTO, André Luiz. Aplicação da microscopia eletrônica de varredura à análise de resíduos de tiro. **Revista Militar de Ciência e Tecnologia**, Rio de Janeiro, p. 24-35, 2008.

MENDES, Luciana Rodrigues; DA VEIGA, Márcia Andreia Mesquita Silva. A química forense e seu uso na balística forense. *In*: ISSA, João Paulo Mardegan (Org.). **Tratado de Balística: bases técnico-científicas médico-legais e aplicações periciais**. Org. ISSA, João Paulo Mardegan. 1. Ed. São Paulo: Santos Publicações, 2023. p. 363-376.

MENKING-HOGGATT, Korina; MARTINEZ, Cláudia; VANDER PYL, Courtney; HELLER, Emily; POLLOCK, Edward; ARROYO, Luis; TREJOS, Tatiana. Development of tailor-made inorganic gunshot residue (IGSR) microparticle standards and characterization with a multi-technique approach. **Talanta**, v. 225, p. 121984, 2021.

MERLI, Daniele; AMADASI, Alberto; MAZZARELLI, Debora; CAPPELLA, Annalisa; CASTOLDI, Elisa; RIPA, Stefano; CUCCA, Lucia; CATTANEO, Cristina; PROFUMO, Antonella. Comparison of different swabs for sampling inorganic gunshot residue from gunshot wounds: applicability and reliability for the determination of firing distance. **Journal of forensic sciences**, v. 64, n. 2, p. 558-564, 2019.

MINISTÉRIO DA JUSTIÇA E SEGURANÇA PÚBLICA. **PREGÃO ELETRÔNICO Nº 06/2019 PROCESSO Nº 08020.001354/2019-63**. Disponível em: < <https://www.gov.br/mj/pt-br/aceso-a-informacao/licitacoes-e-contratos/licitacoes/senasp/pregao/2019/collective-nitf-content-7/edital-pistolas-completo-reabertura.pdf> >. Acesso em: 11 fev. 2024.

MINISTÉRIO DA JUSTIÇA E SEGURANÇA PÚBLICA. **Procedimentos Operacionais Padrão – Perícia Criminal: Balística Forense**. 2024a. Disponível em: < <https://www.gov.br/mj/pt-br/assuntos/sua-seguranca/seguranca-publica/analise-e-pesquisa/pop/pops-pericia-criminal-2024-balistica-forense-vol-3-pdf.pdf/view> >. Acesso em: 20 dez. 2024.

MINISTÉRIO DA JUSTIÇA E SEGURANÇA PÚBLICA. **Procedimentos Operacionais Padrão – Perícia Criminal: Local de Crime**. 2024b. Disponível em: < <https://www.gov.br/mj/pt-br/assuntos/sua-seguranca/seguranca-publica/analise-e-pesquisa/pop/pops-pericia-criminal-2024-local-de-crime-vol-6-pdf.pdf/view> >. Acesso em: 20 dez. 2024.

MINISTÉRIO DA JUSTIÇA E SEGURANÇA PÚBLICA. **Procedimentos Operacionais Padrão – Perícia Criminal: Medicina Legal e Odontologia Forense**. 2024c. Disponível em: < <https://www.gov.br/mj/pt-br/assuntos/sua-seguranca/seguranca-publica/analise-e-pesquisa/pop/pops-pericia-criminal-2024-medicina-legal-vol-7-pdf.pdf/view> >. Acesso em: 20 dez. 2024.

MIRANDA, Karla Leiva; ORTEGA-OJEDA, Fernando E.; GARCÍA-RUÍZ, Carmen; MARTÍNEZ, Pedro S. Shooting distance estimation based on gunshot residues analyzed by XRD and multivariate analysis. **Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems**, v. 193, p. 103831, 2019.

MUNDO DAS ARMAS. **Nomenclatura das partes de uma pistola**. Disponível em: < <https://twitter.com/SobreArmas/status/1341076807089614848> >. Acesso em: 15 mar. 2024.

NATIONAL INSTITUTE OF STANDARDS AND TECHNOLOGY. **Guidelines for Gunshot Residue Distance Determinations**. Disponível em: < https://www.nist.gov/system/files/documents/2016/11/28/guidelines_for_gunshot_residue_distance_determinations.pdf >. Acesso em: 26 abr. 2024.

NETO, João da Cunha. Definições de Balística e suas Divisões. NETO, J. da C. (Org.); MANSANARI, S.; MANIGLIA, S. **Balística para profissionais do Direito**, São Paulo: Clube de Autores; 2020. p. 21-26.

NETO, José Gonçalves; SANTOS, Lucas Meciano Pereira; ISSA, João Paulo Mardegan. Aspectos práticos e operacionais sobre o uso de armas de fogo. In: ISSA, João Paulo Mardegan (Org.). **Tratado de Balística: bases técnico-científicas médico-legais e aplicações periciais**. Org. ISSA, João Paulo Mardegan. 1. Ed. São Paulo: Santos Publicações, 2023. p. 193-236.

Procedures for preparing ballistics gelatins and limitations. In: NICHOLAS, N. C.; WELSH, J. R. **Ballistic gelatin**. The Pennsylvania State University, USA. 2004.

NISHSHANKA, Major Bandula; PARANIRUBASINGAM, Paranitharan; SHEPHERD, Chris. A forensic-based study on low angled AK rifle bullet entry wounds using a porcine model. **Journal of Forensic and Legal Medicine**, v. 74, p. 102025, 2020.

NRA American Rifleman. **Beretta Announces Limited Edition 92 Centennial Pistol**. 2015. Disponível em: < <https://www.americanrifleman.org/articles/2015/5/28/beretta-announces-limited-edition-92-centennial-pistol/>>. Acesso em: 08 mar. 2024.

OLIVEIRA, Alexandre Guimarães Mariano de. **O Paradigma do " Stopping Power" e os Benefícios do Calibre 9MM Luger em Comparação ao Calibre. 40 S&W para o Serviço Policial**. 2019. Disponível em: < <https://dspace.mj.gov.br/handle/1/5546>>. Acesso de 19 de setembro de 2024.

ORDOG, Gary J.; WASSERBERGER, Jonathan; BALASUBRAMANIAM, Subramanian. Wound ballistics: theory and practice. **Annals of emergency medicine**, v. 13, n. 12, p. 1113-1122, 1984.

PAGE, Matthew J.; MOHER, David; MCKENZIE, Joanne E. Introduction to PRISMA 2020 and implications for research synthesis methodologists. **Research synthesis methods**, v. 13, n. 2, p. 156-163, 2022.

PARKS, W. Hays. Father of Modern Wound Ballistics. **Small Arms Defense Journal**, v. 9, n. 3, 2017. p. 1-7.

PAYNE-JAMES, Jason; Injury, Fatal and Nonfatal: Firearm Injuries. In: PAYNE-JAMES, Jason; BYARD, Roger. **Encyclopedia of forensic and legal medicine**. Ann Arbor: Academic Press, 2015. p. 203-234.

PATRAȘCU, Livia; DOBRE, Irina; ALEXE, Petru. Effect of Tumbling Time, Injection Rate and K-Carrageenan Addition on Processing, Textural and Color Characteristics of Pork Biceps Femoris Muscle. **The Annals of the University Dunarea de Jos of Galati. Fascicle VI-Food Technology**, v. 37, n. 1, 2013.

PEIXOTO, Ana Christina da Silva. **Avaliação de técnicas espectroscópicas na caracterização de GSR-NTA proveniente de munição brasileira**. 2020. Dissertação

de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco. Disponível em: <<https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/38638/1/DISSERTA%20c3%87%2083%20Ana%20Christina%20da%20Silva%20Peixoto.pdf>>. Acesso em: 11 mar. 2024.

PEONIM, Vichan; SRISONT, Smith; UDNOON, Jitta; WONGWICHAI, Sompong; THAPON, Arisa; WORASUWANNARAK, Wisan. Entrance and exit wounds of high velocity bullet: An autopsy analysis in the event of dispersing the mass rally in Bangkok Thailand, May 2010. **Legal medicine**, v. 23, p. 10-16, 2016.

PEREIRA, Rosângela Mendes. **Aplicação das técnicas de exames residuográfico e metalográfico em análises periciais**. 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/68186/3/2022_tcc_rmpereira.pdf>. Acesso em: 25 out. 2023.

PETTIGREW, Devin B.; GARNETT, Justin; RYALS-LUNEBERG, Caden; VANCE, Eric A. Terminal ballistics of stone-tipped atlatl darts and arrows: Results from exploratory naturalistic experiments. **Open Archaeology**, v. 9, n. 1, p. 20220299, 2023.

PIRCHER, Rebecca; PERDEKAMP, M. Große; MIERDEL, Katrin; POLLAK, Stefan; THIERAUF-EMBERGER, Annette; GEISENBERGER, Dorothee. Bullet wipe on the uppermost textile layer of gunshot entrance sites: may it be absent due to pre-existing blood staining? **International journal of legal medicine**, v. 133, p. 1437-1442, 2019.

PIROCCA, Taylana Ramos. **Análise Traumatológica de Lesões Crânio-Faciais por Projéteis de Arma de Fogo em Ossada: Relato de caso**. 2022. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/242025>>. Acesso em: 07 mar. 2024.

POLLAK, Stefan; ROTHSCCHILD, Markus Alexander. Gunshot injuries as a topic of medicolegal research in the German-speaking countries from the beginning of the 20th century up to the present time. **Forensic science international**, v. 144, n. 2-3, p. 201-210, 2004.

RAFFERTY, John P. Ballistics. **Encyclopedia Britannica**, 22 May. 2019, Disponível em: <<https://www.britannica.com/science/ballistics>>. Acesso em: 12 fev. 2024.

REIS, Edson Luis Tocaia; SARKIS, Jorge Eduardo de Souza.; RODRIGUES, Cláudio; NETO, Oswaldo Negrini; VIEBIG, Sônia. 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**, 2004, 27 (3), 409–413.

RENDLE, David F. Advances in Chemistry Applied to Forensic Science. **Chemical Society Reviews**. 2005, 34 (12), 1021–1030.

RESTREPO-BETANCUR, Luis Fernando. Avaliação estatística dos homicídios na América do Sul entre 1990 e 2020. **Revista Científica General José María Córdova**, v. 37, p. 187-205, junho de 2022. Disponível em <http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1900-65862022000100187&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 29 fev. 2024.

REYNOARD, Julien; DESMARAIS, André; MANCINI, Julien; DELTEIL, Clémence; LÉONETTI, Georges; PIERCECCHI-MARTI, Marie-Dominique; TUCHTAN-TORRENTS, Lucile. Homicides and suicides by firearm in Marseille: An 8-year review. **Legal Medicine**, v. 52, p. 101909, 2021.

RODRIGUES, Samantha Alda; GUEY, Jason; PLUMMER, T. C. H.; PULLEN, Amy; SHAW, Brian, KIESER, David. Influence of rib impact on thoracic gunshot trauma. **BMJ Military Health**, 2018.

ROMANÒ, Sabrina; DE-GIORGIO, Fabio; D'ONOFRIO, Carlo; GRAVINA, Lucinao; ABATE, Sergio; ROMOLO, Francesco Saverio. Characterisation of gunshot residues from non-toxic ammunition and their persistence on the shooter's hands. **International Journal of Legal Medicine**, v. 134, p. 1083-1094, 2020.

ROMOLO, Francesco Saverio. Standardization in Gunshot Residue Analysis by Scanning Electron Microscopy/Energy-Dispersive Spectroscopy; **IAMA newsletter**, 2002, v. 3, n.1.

RUAS, Thaís de Sousa; MIGUEL, Marina Pacheco; TROYSI, Fernanda Christina Teotonio Dias. Explorando a balística terminal: uma perspectiva sob a ótica bibliométrica. *In: Congresso Nacional de Engenharia Mecânica*, 2024, Natal.

SANTOS, André Luis Silva dos. **Caracterização de resíduos de disparo (GSR) de munição NTA: critérios morfológicos e químicos por microscopia eletrônica de varredura com espectrometria de raios X**. 2020. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Segurança Cidadã da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. Disponível em: <<https://lume.ufrgs.br/handle/10183/213519>>. Acesso em: 05 fev. 2025.

SANTOS, Gustavo Augusto Pereira dos. **Utilização dos métodos alternativos no desenvolvimento e avaliação de formas farmacêuticas dermatológicas**. 2018. Disponível em: <<https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/32966>>. Acesso em: 18 dez. 2024.

SANTOS, Lucas Meciano Pereira. **Dos métodos tradicionais aos métodos de elementos finitos nos estudos de balística forense: uma revisão**. 2019. 66f. Monografia [Especialização em Odontologia Legal]. Faculdade São Leopoldo Mandic, Campinas/SP.

SANTOS, Lucas Meciano Pereira; ISSA, João Paulo Mardegan. Balística forense: uma ciência e seu *Background*. *In: ISSA, João Paulo Mardegan (Org.). Tratado de Balística: bases técnico-científicas médico-legais e aplicações periciais*. Org. ISSA, João Paulo Mardegan. 1. Ed. São Paulo: Santos Publicações, 2023a. p. 6-47.

SANTOS, Lucas Meciano Pereira; ISSA, João Paulo Mardegan. Breve histórico da evolução da balística e do Uso da Arma de Fogo. *In: ISSA, João Paulo Mardegan (Org.). Tratado de Balística: bases técnico-científicas médico-legais e aplicações periciais*. Org. ISSA, João Paulo Mardegan. 1. Ed. São Paulo: Santos Publicações, 2023b. p. 49-103.

SANTOS, Lucas Meciano Pereira; ISSA, João Paulo Mardegan. Conceitos fundamentais em balística forense. *In: ISSA, João Paulo Mardegan (Org.). Tratado de Balística: bases técnico-científicas médico-legais e aplicações periciais.* Org. ISSA, João Paulo Mardegan. 1. Ed. São Paulo: Santos Publicações, 2023c. p. 105-156.

SANTOS, Lucas Meciano Pereira; ISSA, João Paulo Mardegan. Conceitos de Traumatologia Aplicados em Balística Forense: Fundamentos e Origens. *In: ISSA, João Paulo Mardegan (Org.). Tratado de Balística: bases técnico-científicas médico-legais e aplicações periciais.* Org. ISSA, João Paulo Mardegan. 1. Ed. São Paulo: Santos Publicações, 2023d. p. 419-522.

SANTOS, Lucas Meciano Pereira; ISSA, João Paulo Mardegan. Materiais Simuladores de Danos Teciduais e os Estudos em Balística Terminal. *In: ISSA, João Paulo Mardegan (Org.). Tratado de Balística: bases técnico-científicas médico-legais e aplicações periciais.* Org. ISSA, João Paulo Mardegan. 1. Ed. São Paulo: Santos Publicações, 2023e. p. 671-739.

SANTOS, Pedro Corrêa dos. **A utilização do estudo da balística na prática da medicina forense.** 2010. Disponível em: <<https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/27175/000764114.pdf>>. Acesso em: 16 mar. 2024.

SARAPURA, Patricio; GONZÁLEZ, Mari Feli; GONZALEZ, Florencia; MORZÁN, Ezequiel; CERCHIETTI, Luciana; CUSTO, Graciela. Application of total X-Ray fluorescence to gunshot residue determination. **Applied Radiation and Isotopes**, v. 153, p. 108841, 2019.

SCAGLIA, Jorge Aleandro Paulete. Lesões produzidas por armas de fogo e seus projéteis. *In: VANRELL, Jorge Paulete(Org.). Odontologia Legal E Antropologia Forense.* 3. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan; 2019. p. 38-44.

SCHYMA, Christian; BAUER, Kristina; MÜLLER, Rolf; BRÜNIG, Julia; GOTSMY, Walther. The influence of muzzle gas on the temporary cavity. **International journal of legal medicine**, v. 134, p. 1115-1122, 2020.

_____. Ferimentos Produzidos por Projéteis de Arma de Fogo. *In: SECRETARIA NACIONAL DE SEGURANÇA PÚBLICA. Balística Forense Aplicada.* Brasília: Senasp, 2017.

SEGUNDO, Airton Vieira Leite; ZIMMERMANN, Rogério Dubosselard; NOGUEIRA, Emerson Filipe de Carvalho; LOPES, Pedro Henrique de Souza. Inclusão do estudo da balística no tratamento dos ferimentos faciais por projétil de arma de fogo. **Revista de Cirurgia e Traumatologia Buco-maxilo-facial**, v. 13, n. 4, p. 65-70, 2013.

SEROL, Miguel; AHMAD, Samir Marcos; QUINTAS, Alexandre; FAMÍLIA, Carlos. Chemical analysis of gunpowder and gunshot residues. **Molecules**, v. 28, n. 14, p. 5550, 2023.

SHAW, Angela. The role of the gunshot residue expert in case review—a case study. **Forensic science international**, v. 300, p. 28-31, 2019.

SIEGEL, Jay A. Forensic Science. **Encyclopedia Britannica**, 01 Jun. 2020, Disponível em: <<https://www.britannica.com/science/forensic-science>>. Acesso em: 12 fev. de 2024.

SIG DO BRASIL. **Pistola Sig Sauer P320 x Compact Pro**. Disponível em: <<https://www.sigdobrasil.com.br/pistolas/pistola-p320-x-compact-pro-c-3-carregadores-de-15rd-9mm-sig-sauer>>. Acesso em 15 de março de 2024.

SIG SAUER. **History**. Disponível em: <<https://www.sigsauer.com/history>>. Acesso em: 08 mar. 2024.

SILVA, Isadora Oliveira. **Munições e explosivos: histórico, química e estado da arte no Brasil**. 2022. Disponível em: <<https://app.uff.br/riuff/handle/1/26589>>. Acesso em: 28 abr. 2024.

SORO, Roberto. **Italy: host for the economic Summit – a land of Family businesses; The Careful Aim of the Beretta Clan**. 1987. Disponível em: <<https://www.nytimes.com/1987/06/07/business/italy-host-for-economic-summit-land-family-businesses-careful-aim-beretta-clan.html>>. Acesso em: 08 mar. 2024.

STONEY, David A.; STONEY, Paul L. Critical review of forensic trace evidence analysis and the need for a new approach. **Forensic science international**, v. 251, p. 159-170, 2015.

TARIFA, Anamar; ALMIRALL, José R. Fast Detection and Characterization of Organic and Inorganic Gunshot Residues on the Hands of Suspects by CMV-GC-MS and LIBS.pdf. **Science & Justice** 2015, 55, 168–175.

TAUDTE, Regina Verena; BEAVIS, Alison; BLANES, Lucas; COLE, Nerida; DOBLE, Phillip; ROUX, Claude. Detection of Gunshot Residues Using Mass Spectrometry. **Biomed Research International**. Int. 2014, 2014, 1–16.

TAUDTE, Regina Verena; ROUX, Claude; BISHOP, David; BLANES, Lucas; DOBLE, Phillip; BEAVIS, Alisosn. Development of a UHPLC Method for the Detection of Organic Gunshot Residues Using Artificial Neural Networks. **Analytical Methods**, 2015.

TOCCHETTO, Domingos. Introdução à Balística Forense. *In*: TOCCHETTO, Domingos (Org.); BALDASSO, Joseli Péres; MUNIZ, Zênia Mary de Castro Lucena. **Balística forense: aspectos técnicos e jurídicos**. 11 ed. Campinas: Millennium, 2021. p. 29-53.

TRINDADE, Valmo Junior Lemos. **Comparação entre os principais calibres de armamento de porte e as implicações no seu emprego**. 2021. Disponível em: <https://bdex.eb.mil.br/jspui/bitstream/123456789/9806/1/Cad_7408_LemosTrindade.pdf>. Acesso em: 11 fev. de 2024.

TURIN, Sergey Y.; LEDWON, Joanna K.; BAE, Hanna; BUGANZA-TEPOLE, Adrian; TOPCZEWSKA, Jolanta; GOSAIN, Arun K.; Digital analysis yields more reliable and accurate measures of dermal and epidermal thickness in histologically processed specimens compared to traditional methods. **Experimental Dermatology**, Austrian, vol. 27(6), pp.687-690, jun. 2018. Disponível em: <<http://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/pt/mdl-29573291>>. Acesso em: 07 out. 2018.

ULI, Norjaidi; KUPPUSWAMY, R.; AMRAN, Mohd Firdaus Che. A survey of some metallographic etching reagents for restoration of obliterated engraved marks on aluminium–silicon alloy surfaces. **Forensic science international**, v. 208, n. 1-3, p. 66-73, 2011.

United Nations Office on Drugs and Crime (UNODC) – Escritório das Nações Unidas Sobre Drogas e Crimes. **Global Study on Firearms Trafficking**. 2020. Disponível em: <https://www.unodc.org/documents/data-and-analysis/Firearms/2020_REPORT_Global_Study_on_Firearms_Trafficking_2020_web.pdf>. Acesso em: 29 fev. 2024.

United Nations Office on Drugs and Crime (UNODC) – Escritório das Nações Unidas Sobre Drogas e Crimes. **Countering Illicit Arms Trafficking and its Links to Transnational Organized Crime and Terrorism and Fostering International Cooperation**. 2023. Disponível em: <https://www.unodc.org/documents/firearms-protocol/2023/BROCHURE_GFP_2022_FINAL_21122022_PT_28122022toPRINT.pdf>. Acesso em: 12 fev. 2024.

VARLET, Vincent; JOYE, Carlos; FORBES, Shari L.; GRABHERR, Seda. Revolution in death sciences: body farms and taphonomics blooming. A review investigating the advantages, ethical and legal aspects in a Swiss context. **International journal of legal medicine**, v. 134, p. 1875-1895, 2020.

VANINI, Gabriela. **Análise de Resíduos de Disparos de Armas de Fogo usando ICP OES: desenvolvimento de uma nova metodologia analítica**. 2014. Tese de Doutorado. Dissertação de mestrado. Departamento de Química da Universidade federal do Espírito Santo, Vitória. Disponível em: <<https://core.ac.uk/reader/161367860>>. Acesso em: 12 fev. 2024

VANRELL, Jorge Paulete. Lesões por armas de fogo. In: VANRELL, Jorge Paulete; BORBOREMA, Maria de Lourdes (org.). **Vademecum de medicina e odontologia**. 3. ed. Leme/SP: JH Mizuno; 2019. p. 311-324.

VINOKUROV, Asya; GIVERTS, Pavel; WEISS, Revital; LEVIN, NADAV; ZEICHNER, Arie. **The Influence of a Reduced Powder Charge in a Cartridge on the Estimation of Shooting Distance**. 2010. Disponível em: <https://www.science.org/doi/abs/10.1126/science.1059955>. Acesso em: 26 out. 2023.

WALLACE, James Smyth. **Chemical analysis of firearms, ammunition and gunshot residue**. CRC Press: Boca Raton, 2008.

WERNER, Denis; GASSNER, Anne-Laure; MARTI, Jorina; CHRISTEN, Stephan; WYSS, Phillip; WEYERMANN, Céline. Comparison of three collection methods for the sodium rhodizonate detection of gunshot residues on hands. **Science & Justice**, v. 60, n. 1, p. 63-71, 2020.

WONGPAKDEE, Thinnapong; BUKING, Supatana; RATANAWIMARNWONG, Nuanlaor; SAETEAR, Phoonthawee; URAISIN, Kanchana; WILAIRAT, Prapin; TIYAPONGPATTANA, Warawut; NACAPRICHA, Duangjai. Simple gunshot residue analyses for estimating firing distance: Investigation with four types of fabrics. **Forensic Science International**, v. 329, p. 111084, 2021.

ZEICHNER, Arie. Recent Developments in Methods of Chemical Analysis in Investigations of Firearm-Related Events. **Analytical and Bioanalytical Chemistry**. 2003, 376 (8), 1178–1191.

YÜKSEL, Bayram; ŞEN, Nilgün; ÖGÜNÇ; Gokhan Ibrahim; ERDOĞAN, Ayşegül. Elemental profiling of toxic and modern primers using ICP-MS, SEM-EDS, and XPS: an application in firearm discharge residue investigation. **Australian Journal of Forensic Sciences**, v. 55, n. 4, p. 529-546, 2023.