



UNIVERSIDADE DA INTEGRAÇÃO INTERNACIONAL DA LUSOFONIA AFRO-BRASILEIRA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENERGIA E AMBIENTE/PGEA
MESTRADO ACADÊMICO EM ENERGIA E AMBIENTE

FRANCISCO SILVIO MAIA

ASSINATURA QUÍMICA DE RESÍDUOS DE DISPARO DE ARMAS DE FOGO
COM MUNIÇÕES NÃO TÓXICAS: UMA CONTRIBUIÇÃO PARA A
INVESTIGAÇÃO CRIMINAL E ANÁLISE AMBIENTAL

REDENÇÃO – CE
2021

FRANCISCO SILVIO MAIA

**ASSINATURA QUÍMICA DE RESÍDUOS DE DISPARO DE ARMAS DE FOGO
COM MUNIÇÕES NÃO TÓXICAS: UMA CONTRIBUIÇÃO PARA A
INVESTIGAÇÃO CRIMINAL E ANÁLISE AMBIENTAL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Energia e Ambiente/PPEA, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Energia e Ambiente.

Orientadora: Prof^a. Dra. Maria Valdez Ponte Rocha. (Brasil)

Coorientadora: Prof^a. Dra. Margarida Maria Correia Marques. (Portugal)

Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira
Sistema de Bibliotecas da UNILAB
Catalogação de Publicação na Fonte.

Maia, Francisco Silvio.

M184a

Assinatura química de resíduos de disparo de armas de fogo com munições não tóxicos: uma contribuição para a investigação criminal e análise ambiental / Francisco Silvio Maia. - Redenção, 2021.
116f: il.

Dissertação - Curso de Mestrado Acadêmico em Energia e Ambiente, Programa de Pós-graduação em Energia e Ambiente, Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, Redenção, 2021.

Orientador: Profa. Dra. Maria Valderez Ponte Rocha.

Coorientador: Profa. Dra. Margarida Maria Correia Marques.

1. Balística forense. 2. Ciências criminais. 3. Resíduos de tiro. I. Título

CE/UF/BSP

CDD 333.79

FRANCISCO SILVIO MAIA

**ASSINATURA QUÍMICA DE RESÍDUOS DE DISPARO DE ARMAS DE FOGO
COM MUNIÇÕES NÃO TÓXICAS: UMA CONTRIBUIÇÃO PARA A
INVESTIGAÇÃO CRIMINAL E ANÁLISE AMBIENTAL**

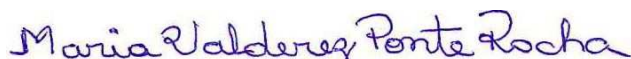
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Energia e Ambiente/PPEA, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Energia e Ambiente.

Orientadora: Prof^a. Dra. Maria Valderez Ponte Rocha. (Brasil)

Coorientadora: Prof^a. Dra. Margarida Maria Correia Marques. (Portugal)

Aprovada em: 28/10/2021

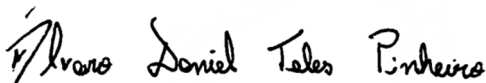
BANCA EXAMINADORA



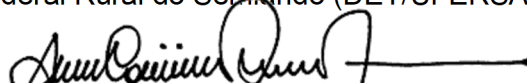
Prof.^a. Dra. Maria Valderez Ponte Rocha (Orientadora)
Universidade Federal do Ceará (DEQ/UFC)



Prof.^a. Dra. Margarida Correia Marques (Coorientadora)
Universidade de Trás-os-Monte e Alto Douro (UTAD - Portugal)



Prof. Dr. Álvaro Daniel Teles Pinheiro
Universidade Federal Rural do Semiárido (DET/UFERSA)



Prof. Dr. André Casimiro de Macêdo
Universidade Federal do Ceará (DEQ/UFC)



Prof. Dr. Aluísio Marques da Fonseca
Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB)

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha orientadora, Profa. Dra. Valderez, por toda energia, simpatia e apoio, mulher de fibra que não hesitou nos momentos que mais necessitava, de “puxar minhas orelhas”, e que teve papel fundamental na formulação desse trabalho, trazendo para prática laboratorial e para coleta de dados nos estandes de tiro, toda sua cientificidade e sabedoria para a confecção organizada desta pesquisa.

Agradeço a minha coorientadora, Profa. Dra. Margarida Maria Correia Marques, pela confiança, paciência, dedicação e apoio constante, pois mesmo estando em solo lusitano, sempre esteve presente em cada momento de construção deste trabalho.

À Central Analítica da Universidade Federal do Ceará pelas análises MEV-EDS, pelo apoio nas averiguações das amostras coletadas. À Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro (UTAD) de Portugal, por todo apoio e acolhimento aos estudantes brasileiros, bem como à Agência Portuguesa do Ambiente, ao Departamento de Química, em especial ao Sr. Carlos e ao Professor Fernando Nunes por todo apoio na preparação das amostras, análises e resultados obtidos.

Aos Professores da UFC e UNILAB pelos ensinamentos e trocas de experiência, e por acreditar na cientificidade desta investigação. Em destaque ao Professor André Casimiro, grande amigo, CAC, cuja experiência foi fundamental na organização da dissertação.

A todos os amigos de turma da UNILAB e UTAD, pelo companheirismo, amizade, cumplicidade e agradável convívio no território pátrio e em terras lusitanas, onde todos os dias vividos foram brilhantes descobertas.

Ao meu Pai (*In memoriam*) e minha Mãe por todo suporte, educação e exemplo de vida, em nome dos quais agradeço a toda minha família, dálmatas, amigos de infância, da gloriosa Polícia Civil, SSPDS e aos novos irmãos que compõem a exemplar equipe de trabalho da Prefeitura Municipal de Aquiraz, capitaneada pelo visionário Prefeito Dr. Bruno Gonçalves. A todos o meu sincero respeito e gratidão.

À Deus pela minha existência, saúde e disposição na contemplação do universo e na luta contra as adversidades do mundo.

RESUMO

Resíduos de tiros são formados sob condições específicas de temperatura e pressão durante o disparo. O fato é que, ao disparar, forma-se uma nuvem gasosa, e há a presença de produtos provenientes da detonação da mistura iniciadora da espoleta e da carga de projeção contida no estojo. Material gasoso e uma quantidade substancial de metal são produzidos quando uma arma é descarregada. Essas substâncias podem resultar em efeitos adversos à saúde e impactar o meio ambiente. Nesse contexto, o presente trabalho preocupou-se em discutir dois importantes parâmetros científicos de suma importância para a Segurança Pública. A primeira foi analisar e confirmar a presença de determinados elementos presentes na formação de resíduos de armas de fogo (mais conhecidos em inglês como *Gunshot residues*, GSR), e a segunda foi que ressaltar que a integridade física dos praticantes de tiro precisa ser garantida, e a contaminação com poluentes provenientes de disparos de armas de fogo precisa ser prevenida ou reduzida. Então, o objetivo deste estudo foi determinar a presença de elementos químicos em disparos de armas de fogo, durante a exposição dos atiradores em estandes de tiro ao ar livre, tanto no ambiente quanto nas mãos dos atiradores, e avaliar os possíveis impactos destes no meio ambiente e na saúde com base em legislações. Os experimentos foram realizados em estandes de tiro credenciados nas cidades de Fortaleza e Itaitinga, no Estado do Ceará, Brasil, entre 2020 e 2021, nos quais foram instalados os equipamentos de medição e coleta de GSR (*Gunshot residues*, resíduos de tiro). As coletas dos gases residuais gerados pelos disparos com armas de fogo foram realizadas por adsorção através de dois aparelhos de alta precisão para medição de partículas em suspensão, da marca *ThermoScientific* modelo Mini- Partisol 2100, que funcionaram simultaneamente durante as baterias dos disparos com pistolas Taurus Calibre .40, durante baterias de tiros efetuados por policiais em treinamentos. Amostras também foram coletadas das regiões de dorso e de pinça- dorsal das mãos do atirador a fim de investigar através de Microscopia eletrônica de Varredura acoplada a Espectroscopia por energia dispersiva (MEV-EDS) a ocorrência e o depósito de partículas e elementos químicos. As análises realizadas no ar indicaram a presença dos seguintes elementos químicos: cobre, chumbo, antimônio, zinco, cádmio e níquel, além de mercúrio. Os resultados obtidos na mão do atirador apontam que perfis de concentração de cobre, zinco e chumbo poderão balizar e revelar detalhes mais precisos sobre disparos efetuados com munição não tóxica. Em particular, a análise residuográfica em MEV-EDS,

aponta, em detrimento de métodos clássicos que o depósito majoritário na mão do atirador é de Zinco. A análise dos dados coletados permitiu identificar padrões químicos específicos para as amostras que podem contribuir à investigação criminal e ao desenvolvimento de metodologias para a determinação qualitativa e quantitativa de GSR.

Palavras-Chave: Balística Forense. Ciências Criminais. Impactos Ambientais. Metais. Resíduos de tiro. Saúde.

ABSTRACT

Shot residues are formed under specific temperature and pressure conditions during firing. The fact is that, when shooting, a gaseous cloud is formed, and there is the presence of products coming from the detonation of the initiator mixture of the fuze and the projection charge contained in the case. Gaseous material and a substantial amount of metal are produced when a gun is discharged. These substances can result in adverse health effects and impact the environment. In this context, the present work was concerned with discussing two important scientific parameters of paramount concern to Public Security. The first was to analyse and confirm the presence of certain elements present in the formation of GSR (gunshot residues), and the second was the physical integrity of the shooting practitioners needs to be guaranteed, and the contamination with pollutants coming from firearms shots needs to be prevented or reduced. Then, the study aimed to determine the presence of chemical elements in firearms shots, during exposure of shooters in outdoor shooting ranges, both in the environment in the hands of shooters, and to evaluate the possible impacts of these metals on the environment and on health based on legislation. The experiments were carried out in accredited shooting ranges in the cities of Fortaleza and Itaitinga, in the State of Ceará, Brazil, between 2020 and 2021, in which GSR collection and collection equipment was installed. The collection of waste gases generated by firearms shots were carried out by adsorption using two high-precision devices for suspended particles, from the ThermoScientific brand, model Mini-Partisol 2100, which operated simultaneously during the batteries of the shots with Taurus Caliber pistols. 40, during rounds of shots carried out by police officers in training. Samples were also collected from the shooter's dorsum and pinch regions of the shooter's hands to investigate through Scanning Electron Microscopy coupled with Energy Dispersive Spectroscopy (SEM-EDS) for the occurrence and deposition of particles and chemical elements. Analyses carried out in the air indicated the presence of the following chemical elements: copper, lead, antimony, zinc, cadmium and nickel, in addition to mercury. The results obtained in the sniper's hand indicate that copper, zinc and lead concentration profiles reveal and reveal more precise details about shots fired with non-toxic ammunition. In particular, a residual graphic analysis in SEM-EDS points out, to

the detriment of classical methods, that the majority deposit in the shooter's hand is Zinc. An analysis of the collected data, identifying specific chemical patterns that can contribute to criminal investigation, and the development of methodologies for the qualitative and quantitative determination of GSR.

Keywords: Criminal Sciences. Environmental Impacts. Forensic Ballistics. Gunshots. Health. Metals.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Bombarda (http://mmdcjaguariuna.blogspot.com.br/2015).....	28
Figura 2 - Arma com cano de alma raiada (www.ebah.com.br/content/carabinapuma ,2010)	30
Figura 3 - Estriamento à direita no cano de uma pistola calibre 9 mm.....	30
Figura 4 - Cano raiado de arma antiaérea.....	30
Figura 5 - Exemplar de fecho snaphaunce, arma fabricada na Alemanha em 1685.....	31
Figura 6 - O termo Snaphaunce se deriva do holandês schnapp-hahn, que literalmente significa "galo que bica".....	31
Figura 7 - Sistema de Inflamação por mecha (SENASP, 2012).....	33
Figura 8 - Sistema de inflamação por atrito - fecho de roda (SENASP, 2012).....	33
Figura 9 - Percussão extrínseca - arma de antecarga (SENASP, 2012).....	33
Figura 10 - Cartuchos de fogo radial (esquerda) e central (direita).....	34
Figura 11 - Verificação do calibre de uma arma não raiada (SENASP, 2012).....	38
Figura 12 - Determinação do calibre real em canos de alma (Rabelo, 1995).....	38
Figura 13 A e 13 B - Verificação do calibre em canos com raias pares e ímpares (SENASP, 2012).....	39
Figura 14 - - Perspectiva explodida de uma pistola com carregador unifilar -Departamento de Polícia Federal.....	44
Figura 15 - Estrutura química do Diazol.....	47
Figura 16 – Rodizonato de Sódio.....	48
Figura 17 - Coleta de metais em mãos de atiradores (Oliveira, 2006).....	48
Figura 18 - Rodizonato de chumbo (Oliveira, 2006).....	49
Figura 19 - Componentes de um cartucho (SENASP, 2012).....	50
Figura 20 - Corte esquemático de um cartucho, com seus componentes (CHEMELLO,2007).....	53
Figura 21 - Projétil semi-jaquetado de ponta oca ou hallow point (CHEMELLO,2007).....	54
Figura 22 - Esquema das reações produzidas em um disparo (FREITAS, 2010).....	54
Figura 23 - Visão lateral de um disparo efetuado com uma pistola Taurus calibre.....	58
Figura 24- Nuvem de fumaça.....	59
Figura 25 - Equipamento de WDXRF do CQMA/IPEN utilizado para detecção deGSR (FREITAS, 2010).....	64
Figura 26 - Microscópio Eletrônico de Varredura - (Central Analítica da UFC -2020).....	66
Figura 27 - Imagem de elétrons secundários de um resíduo de arma de fogo (Central Analítica da UFC - 2020).....	67

Figura 28 - Ilustração da composição do Mini-Partisol 2100 Air Sample.....	71
Figura 29 - Filtro Whatman.....	73
Figura 30 - Coleta de amostras na mão do atirador	74
Figura 31 - Pistola PT 840, calibre .40.....	75
Figura 32 - Pistola PT 100, calibre .40 de fabricação da Taurus.....	75
Figura 33 - Vista explodida da Pistola PT 100	76
Figura 34 - Munição Trainee - representação em variados calibres(www.cbc.com.br) ..	77
Figura 35 - Esquema ilustrativo das disposições dos equipamentos em operação.....	78
Figura 36 - Estande de tiro, antes da instalação dos equipamentos.....	78
Figura 37 - Foto do equipamento A2 na lateral esquerda.....	79
Figura 38 - Policias efetuando disparos, com aparelho em funcionamento coletando dados.	79
Figura 39 - Placa de Petri de acrílico com filtro de papel armazenado	80
Figura 40 - Quantidade de metais detectados por m ³ de ar coletados nos processos de amostragem usando o Equipamento A1, em experimentos com quantidade diferentes de disparos.....	84
Figura 41 - Quantidade de metais detectados por m ³ de ar coletados nos processos de amostragem usando o Equipamento A2, em experimentos com quantidade diferentes de disparos.....	84
Figura 42 – Metais Pesados.....	85
Figura 43 - Quantidade dos metais (antimônio, arsênio, cádmio e mercúrio) detectados por m ³ de ar coletados nos processos de amostragem usando os Equipamentos A1 e A2, em experimentos com quantidade diferentes de disparos.....	86
Figura 44 - Quantidade de metais detectados por m ³ de ar coletado durante os procedimentos de amostragem nos Equipamentos A1 e A2, nas 12 horas imediatamente após a sessão de tiro.....	87

Figura 45 - Desenho que indica as posições de coleta de amostra na mão direita do atirador. Região dorsal: Posição 1 - articulações interfalangeanas distais; Posição 2: articulações interfalangeanas proximais; e Posição 3: prega longitudinal radial.....	88
Figura 46 - Imagens de Microscopia Eletrônica de Varredura, destacando os metais presentes com cores (figuras à esquerda), e espectro de raios X por dispersão de energia (figuras à direita) de amostras coletadas da mão do atirador em diferentes posições: (A) Posição 1 (articulações interfalangeanas distais); (B) Posição 2	88
Figura 47 - Histograma de metais observados em amostras coletadas na Posição 1 (articulações interfalangianas distais); Posição 2 (articulações interfalangianas proximais) e Posição 3 (prega longitudinal radial) da mão do atirador.	89

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Relação dos calibres em armas de alma lisa e suas medidas	38
Tabela 2 - Relação entre os calibres nominais e os calibres reais.....	40
Tabela 3 - Diferentes nomenclaturas para os mesmos cartuchos.....	42
Tabela 4 - Métodos analíticos utilizados para análise de resíduos de disparo.....	69
Tabela 5 — Condições de operação do MINI-PARTISOL® MODEL 2100 AIR SAMPLER 2004	72
Tabela 6 - Dimensões do Cubo de Controle do MINI-PARTISOL® MODEL 2100 AIR SAMPLER 2004	72
Tabela 7 - Caracterização do Suporte do filtro do MINI-PARTISOL® MODEL 2100 AIR SAMPLER 2004	73
Tabela 8 - Detalhes Técnicos da Pistola PT 100	76
Tabela 9 – Propriedades Físicas de Munição NTA.....	77
Tabela 10 – Dados quantitativos dos disparos efetuados durante a coleta de dados nas respectivas carreiras de tiro, com munições correspondentes.....	81
Tabela 11 — Valores de referência para ar no ambiente de trabalho, que são citados na Legislação Europeia, na Occupational Safety and Health Administration (OSHA) e no National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). Fonte: [1-12].....	85
Tabela 12 — Padrões europeus de qualidade do ar para proteger a saúde humana de metais tóxicos e diretrizes de qualidade do ar da Organização Mundial da Saúde (OMS) (AQG) e níveis de referência estimados (RL) [1-5].....	86

LISTA DE ABREVIATURAS, ACRÔNIMOS E SIGLAS

AAS - Espectrofotometria de Absorção Atômica

AESP – Academia Estadual de Segurança

PúblicaAPOC – Academia de Polícia Civil

ASTM – *American Society for Testing and Materials*

CBC - Companhia Brasileira de Cartuchos

CHOG – Chumbo ogival

CQMA - Centro de Química e Meio-ambiente

ETPP – Encamisado total ponta plana

GSR – Gunshot residue

HR-ICP-MS – Espectrometria de massas de dupla focalização com fonte de plasma acoplado indutivamente

IC – Instituto de Criminalística

ICP-MS – Espectrometria de massas com fonte de plasma indutivamente acoplado

INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia

IPEN – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares

MEV – Microscópio Eletrônico de varredura

NTA - *Non toxic ammunition*

SEM/EDS - Microscopia Eletrônica de Varredura acoplada à Espectroscopia de Energia Dispersiva

XRF – Fluorescência de raios-x

Sumário

AGRADECIMENTOS	5
RESUMO	6
ABSTRACT	8
LISTA DE FIGURAS	10
LISTA DE TABELAS	13
LISTA DE ABREVIATURAS, ACRÔNIMOS E SIGLAS	14
1. INTRODUÇÃO	18
1.1. Qualificação do Problema e Objetivo da Dissertação	20
1.2. Estrutura da Dissertação	23
2. BALÍSTICA FORENSE – ASPECTO TÉCNICO-CIENTÍFICO	24
2.1. Avanço no estudo da constatação da prova material	24
2.2. Balística: Aspectos históricos	27
2.2.1. Armas	29
2.2.2. Armas de fogo	30
2.2.3 Classificação geral das armas de fogo	31
2.2.3.1 Classificação quanto à alma do cano	31
2.2.3.2 Classificação quanto ao sistema de inflamação	33
2.2.3.3 Sistema de inflamação por percussão	35
2.2.3.3.1 Inflamação por percussão extrínseca	35
2.2.3.3.2 Inflamação por percussão intrínseca	36
2.3 Sistemas de confecções de raias	37
2.3.1 Sistema de usinagem	37
2.3.2 Sistema de brochamento por bilha	38
2.3.3 Sistema de martelamento	38
2.4 Estudo dos calibres das armas de fogo	39
2.4.1 Calibre das armas de cano de alma raiada	41
2.4.1.2 Calibre nominal	42
2.4.1.3 Calibres nominais X Calibres reais	42
2.4.1.4 Calibre das armas de cano de alma lisa	43
2.4.1.4.2 Calibre nominal	43
2.4.1.4.3 Nomenclatura dos calibres nominais	43
2.5 Classificação geral das armas de fogo	45
2.5.1 Armas de porte - Pistola	46
2.5.2 Breve histórico	48
3. RESÍDUOS DE ARMA DE FOGO (GUNSHOT RESIDUES - GSR)	49

3.1	Cartuchos das armas de fogo	53
3.1.1	Modelos de cartucho	53
3.1.2	Componentes do cartucho e suas funções	53
3.1.2.1	Estojo	54
3.1.2.2	Tipo de iniciação	54
3.1.2.3	Espoletas	54
3.1.2.4	Mistura iniciadora	55
3.1.2.5	Propelentes (pólvora)	55
3.1.2.6	Projétil	57
3.1.2.7	Propriedades físico-químicas dos principais elementos da munição	58
3.2	Análise física das armas de fogo	59
3.2.2	Potência	60
3.2.3	Velocidade	60
3.3	Dinâmica dos disparos com armas de fogo	62
3.4	Métodos analíticos utilizados para determinação de GSR	63
3.4.1	Testes Colorimétricos	64
3.4.2	Análise por Ativação com Nêutrons	65
3.4.3	Espectrometria de Absorção Atômica	65
3.4.4	Fluorescência de Raios-X (XRF)	66
3.4.5	Microscopia Eletrônica de Varredura acoplada à espectrometria de dispersão de energia (SEM/EDS)	67
3.4.6	Espectrometria de massas com fonte de plasma indutivamente acoplado	69
4	METODOLOGIA	72
4.1	Considerações Iniciais	72
4.2	Equipamento de Medição	72
4.3	Armamento Utilizado	76
4.4	Munição Utilizada	79
5.	PARTE EXPERIMENTAL – METODOLOGIA DE COLETA DE DADOS	80
5.1	Estande 1 – Sniper	80
5.1.1	Procedimentos Práticos	83
5.1.2	Métodos analíticos	84
6.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	86
6.1.	Análises das amostras coletadas no ar	86
6.2.	Análises na mão do atirador	94
7.	CONCLUSÃO	98
	BIBLIOGRAFIA	99

GLOSSÁRIO.....	105
APÊNDICE.....	111

1. INTRODUÇÃO

Resíduos de disparos de tiros são formados sob condições específicas de temperatura e pressão durante a queima. O fato é que, ao disparar, forma-se uma nuvem gasosa, e há a presença de produtos oriundos da detonação da mistura iniciadora da espoleta e da carga de projeção. No momento da detonação, a temperatura dentro da espoleta ou carga inicial, também conhecida como *primer* chega a 2.500 °C com consequente vaporização de seus componentes metálicos. Material gasoso e uma quantidade substancial de metal são produzidos quando uma arma é descarregada e eles são condensados em partículas finas, variando em forma e tamanho, normalmente na faixa de 0,1 µm a 100 µm (FERREIRA et al., 2021). Essas partículas apresentam características peculiares, seja por sua morfologia ou por sua composição química (WANG et al., 2017). Parte desses resíduos sólidos permanecem no interior e ao redor do tambor, no caso dos revólveres, na câmara de percussão e na região do ferrolho quando a arma utilizada é uma pistola, e uma certa quantidade alcança o meio externo, contaminando a mão do atirador, suas vestimentas e o meio ambiente.

O material gerado durante os disparos é composto principalmente por metais como antimônio (Sb), bário (Ba), cobre (Cu), chumbo (Pb) e zinco (Zn), entre outros, ao lado de elementos derivados dos explosivos, e presentes na carga inicial ou “primer”, como, por exemplo, CO, CO₂, e gases de óxidos de nitrogênio (NO₂) (WANG et al., 2017). Essa variação depende do tipo de arma utilizada, do calibre e da composição, que também pode variar em função dos explosivos do fusível ou da carga inicial.

Disparar em estandes de tiro, fechados (*indoor*) ou externos (*outdoor*), é uma necessidade ocupacional para o pessoal de segurança, policiais, militares e, cada vez mais, uma atividade recreativa para o público (WANG et al., 2017). Como consequência, o atirador fica diretamente exposto ao risco de inalação desses produtos de combustão pós-queima, resultando em riscos à saúde. Os íons metálicos, principalmente manganês (Mn), chumbo (Pb) e mercúrio (Hg), parecem desempenhar papel importante em várias doenças neurodegenerativas (CHARLET et al., 2012). Além disso, a contaminação do ar e do solo por metais pesados em estandes de tiro e em suas proximidades ainda recebe atenção considerável.

De acordo com Briffa (et al., 2020), a poluição ambiental por metais pesados está se tornando cada vez mais uma questão de grande preocupação devido aos efeitos contaminantes ao redor do mundo.

Algumas munições são chamadas de “munição verde”, com *primers* sem chumbo (Pb) reduzindo assim a exposição deste metal em estandes de tiro (LAIDLAW apud VANDEBROCK et al., 2019). No entanto, ainda é possível detectar esse metal e também ocorrer à exposição a outros metais, potencializando efeitos nocivos à saúde humana.

O presente trabalho preocupou-se em discutir dois parâmetros científicos importantes para a Segurança Pública. O primeiro foi analisar e confirmar a presença de metais pesados presentes na formação dos resíduos de tiro (*Gunshot residues - GSR*) que impregnam as mãos, roupas e outras partes do corpo de atiradores profissionais ou não profissionais, após o disparo de armas de fogo. A integridade física dos atiradores precisa ser garantida e a contaminação por poluentes provenientes de disparos de armas de fogo precisa ser prevenida ou reduzida.

Nesse sentido, o presente trabalho propõe em primeiro lugar, nos termos dos dispositivos legais, normas e regulamentos, um novo paradigma em que a saúde humana e do meio ambiente deve ser o pilar fundamental para a construção de estandes de tiro com uma infraestrutura mais adequada, com sistema de exaustão mais eficiente, além da promoção do uso de munições com um diminuto percentual de resíduos tóxicos, minimizando o impacto à saúde de atiradores sejam eles profissionais ou não da Segurança Pública, como também a redução do impacto ambiental.

O segundo parâmetro baseia-se principalmente na discussão da questão da contaminação de resíduos nas mãos de atiradores-infratores, que poderão estar sendo investigados por infrações penais por órgãos policiais. Visto que, os levantamentos de resíduos, seja por química úmida ou por instrumentos de laboratório realizados em institutos forenses tem grande relevância para a conclusão de uma investigação criminal.

1.1. Qualificação do Problema e Objetivo da Dissertação

A Ciência Criminal (ciência forense ou criminalística moderna) passa a caminhar lado a lado com os mais variados ramos da pesquisa científica especializada. Por definição, a Criminalística, deve ser compreendida como o conjunto de todos os conhecimentos técnico-científicos que são utilizados para desvendar crimes ou fatos delituosos. Especificamente nos casos de homicídio, por exemplo, são utilizados meios para desvendar a hora, a data, autoria do delito e a *causa mortis*. Portanto, tem como papel fundamental neste contexto a Figura do Investigador Forense, que através das mais diversas áreas do conhecimento científico e policial, se qualifica como cientista que realiza inúmeros ensaios com o intuito de metamorfosear vestígios brutos em evidências e indícios criminais. Esses profissionais normalmente são vinculados a Instituições Policiais, associadas ao Governo, ou a consultorias particulares.

A ciência forense é utilizada para a análise de vestígios principalmente em crimes violentos. Espécimes biológicos como sangue, cabelo, sêmen, e outros tecidos estão entre os tipos mais frequentes encontrados nas cenas de crime. Estes chegam a um laboratório especializado de várias formas, tipos e condições, requerendo, em alguns casos, a utilização de práticas analíticas tradicionais, como a utilização de reagentes, por outro lado, devido a urgência, exatidão, natureza sensível ou especificidade do exame, pode haver a necessidade de buscar resultados através de modernos equipamentos, através de métodos cromatográficos, espectrometria e microscopia de varredura. Especificamente, no ramo da balística forense, os cientistas forenses se deparam diariamente com vários casos que requerem em especial a análise de resíduos provenientes de disparos de arma de fogo (*gunshot residues - GSR*).

A Balística Forense é uma disciplina, integrante da criminalística, que estuda as armas de fogo, sua munição e os efeitos dos tiros por elas produzidos, sempre que tiverem uma relação direta ou indireta com infrações penais, visando esclarecer e provar sua ocorrência (TOCHETTO, 2021). Os setores de Balística montados nos Institutos de Criminalística são responsáveis pela realização de diversos exames periciais, como os abaixo relacionados:

Exame de eficiência: que tem por finalidade verificar se a arma de fogo é capaz de realizar disparos, tendo parâmetros, a avaliação de sua estrutura, mecanismo de funcionamento e seus resultados;

Exame metalográfico: exame que se destina com a avaliação e recuperação das numerações seriais armas raspadas ou destruídas de forma criminosa. A metodologia utilizada consiste em polir a área a ser investigada e em seguida aplicar os reagentes químicos apropriados para a revelação da numeração. Podendo também, nesse caso, utilizar-se da técnica de Difractometria de Raio X, no qual se investiga a distância entre átomos na estrutura cristalina do metal;

Exame de comparação balística: O exame de comparação balística visa estabelecer a conexão entre a arma de fogo e o projétil, entre a arma e o estojo, entre projéteis e entre estojos. O procedimento pericial adotado segue rotina padronizada no Brasil e no Exterior, com o emprego de um moderno microscópio comparador auxiliado por processo de captura de imagens permitindo a análise em vídeo de alta resolução;

Exame de segurança: Este exame é utilizado quando se busca identificar se os mecanismos de segurança da arma de fogo questionada estão eficientes, assim, esclarecendo as dúvidas quando a possibilidade de disparos acidentais.

O estudo em Balística Forense, constitui-se de uma valiosa ferramenta que pode servir como meio de prova criminal, de modo especial atua na qualificação e quantificação de resíduos oriundos dos disparos efetuados com armas de fogo, dimensionando o grau de contaminação dessas partículas em suspensão para o ambiente e seus usuários, foco principal da pesquisa investigativa deste trabalho dissertativo.

Conforme informativo da Companhia Brasileira de Cartuchos – CBC, que pode ser visualizada no site da empresa (www.cbc.com.br), a intoxicação do ser humano por resíduos de arma de fogo (*gunshot residues* — GSR), ocorre por aspiração ou inalação desses elementos tóxicos. Outra forma é a ingestão direta de partículas aderidas às mãos: o simples manuseio de estojos deflagrados ou de projéteis de chumbo, fato bastante comum na prática da recarga de munição, já é fonte de contaminação. O elemento químico Chumbo (Pb) causa uma intoxicação conhecida tecnicamente por saturnismo e particularmente perigosa por ser cumulativa, já que o

metal é dificilmente eliminado pelo organismo. Cujos sintomas mais comuns são dores abdominais severas, úlceras e disfunções renais.

A intoxicação pelo chumbo frequentemente causa no início discretos sintomas, podendo haver encefalopatia ou dano irreversível aos órgãos, resultando comumente em deficiência cognitiva em crianças. Pode afetar severamente as funções cerebrais, sangue, rins, sistema digestivo e reprodutor, inclusive com possibilidade de produzir mutações genéticas em descendentes (<https://www.atomjr.com.br/>). O diagnóstico é dado pelo nível de chumbo no sangue e o tratamento consiste em cessar a exposição ao chumbo e, às vezes, terapia por quelação, com a utilização de EDTA (Ácido etileno diamino tetra acético) que possui a propriedade de pinçar ou “**quelar**” os metais tóxicos presentes na circulação sanguínea, transformando-os em compostos possíveis de serem eliminados pelos rins.

É de total interesse dos órgãos públicos, em suas esferas policiais, de justiça, criminais e periciais, o desenvolvimento de uma metodologia de identificação de GSR, que atenda a demanda de exames solicitados devido ao grande número de crimes relacionados a arma de fogo. Do ponto de vista das investigações criminais, fornecer à Polícia Científica uma nova ferramenta no auxílio da solução de crimes, valendo-se da possibilidade de várias aplicações forenses, entre elas, vincular suspeitos ao local de crime, por meio da análise dos resíduos de disparos encontrados, e verificar as relações entre os tipos de projéteis e armas de fogo utilizadas, através da análise dos resíduos encontrados.

Do ponto de vista analítico, identificar a gama de componentes formados a partir da detonação e da deflagração da carga inicial e da carga propelente, respectivamente. Como também, investigar de forma inequívoca a origem dos resíduos (GSR) encontrados nos alvos, mãos, corpo e vestes dos atiradores.

Neste contexto, esta dissertação se fundamenta na investigação de partículas residuais (*gunshot residues - GSR*), resultantes da queima das munições **NTA** (*non toxic ammunition*), ambas fabricadas pela **CBC** (Companhia Brasileira de Cartuchos) as quais foram disparadas por pistolas calibre .40 da marca Taurus, durante treinamentos com atiradores profissionais e policiais em estandes de tiro credenciados no Estado do Ceará, Brasil, e avaliar os possíveis impactos destes no meio ambiente e na saúde com base em legislações.

1.2. Estrutura da Dissertação

A presente dissertação é composta por sete capítulos principais, bibliografia e glossário. A seguir ao presente capítulo de Introdução, o segundo capítulo com o título de Balística Forense — Aspecto técnico-científico traça um perfil sobre o avanço nos estudos para constatação de provas criminais durante uma investigação policial, em seguida se reporta aos aspectos históricos do estudo de balística forense, bem como as classificações gerais das armas de fogo. Detalhando com profundidade a confecção dos canos das armas e suas raias, dados fundamentais para os estudos de microcomparação balística.

Neste capítulo, pode-se observar em detalhe a classificação dos calibres das armas raiadas e das armas não-raiadas, seguida das nomenclaturas dos sistemas europeus e americanos, fator preponderante na identificação das armas de fogo. No próximo capítulo intitulado Capítulo 3 - Gunshot residues (GSR), cuja tradução é resíduos das armas de fogo, são detalhados os componentes dos cartuchos ou munições.

É traçado um perfil das propriedades físico-químicas dos principais elementos da munição, além dos métodos analíticos utilizados para determinação laboratorial de GSR. Verifica-se um resumo teórico dos principais tais como: Espectrometria de absorção atômica, Fluorescência de RaiosX, dentre outros. O penúltimo capítulo esclarece a metodologia que fora utilizada para a realização do experimento gerador desta investigação.

É possível observar entre suas linhas, descrições sobre os equipamentos utilizados nas medições e coletas dos resíduos provenientes dos disparos das armas de fogo, realizados em estande oficiais na cidade de Fortaleza, Ceará, Brasil. Foram descritas as armas utilizadas para efetuar milhares de disparos, além dos específicos tipos de munições que foram usadas.

No capítulo 5, são detalhados todos os procedimentos experimentais, que vão desde a escolha dos estandes de tiros, sua localização geográfica, a quantificação exata através de gráficos e planilhas dos disparos efetuados. No último, capítulo 6, encontra-se detalhadas as análises laboratoriais, resultados e discussões na detecção de resíduos metálicos oriundos das munições fabricadas pela Companhia Brasileira de Cartuchos, utilizadas pelas pistolas calibre .40 da marca Taurus de fabricação brasileira, arma de uso exclusivo da Polícia Brasileira.

2. BALÍSTICA FORENSE – ASPECTO TÉCNICO-CIENTÍFICO

2.1. Avanço no estudo da constatação da prova material

Nos últimos anos tem-se verificado uma crescente utilização de análises instrumentais, como também o contínuo uso dos tradicionais reagentes físico-químicos aplicados na verificação e identificação substâncias ou vestígios, comumente encontrados nos mais variados locais de crime que após analisados e depurados constituem a chamada “PROVA OBJETIVA OU MATERIAL”.

O vocábulo prova origina-se do latim *probatio*, que por sua vez emana do verbo *probare*, com o significado de demonstrar, reconhecer, formar juízo de. “Entende-se, assim, no sentido jurídico, a demonstração que se faz, pelos meios legais, da existência ou veracidade de um fato material ou de um ato jurídico, em virtude da qual se conclui por sua existência ou se afirma a certeza a respeito da existência do fato ou do ato demonstrado” (DE PLÁCIDO E SILVA, 1967). A demonstração dos fatos em que se assenta a pretensão do autor, e daquilo que oréu alega em resistência a essa pretensão, é o que constitui a prova. Sua finalidade é fornecer subsídios para a formação da convicção do julgador.

A função da prova é demonstrar que um fato existiu e de que forma este tenha vindo a ocorrer. Já seu objetivo é a demonstração em juízo de um fato perturbador ou violador de um direito, visando demonstrar ao julgador a verdade real (ARANHA, 2006). A prova material é o instrumento do crime, por exemplo: a constatação do aborto pela visualização do feto expulsado e morto (NUCCI, 2008). Daí tem-se também, que o exame de corpo de delito é o conjunto de vestígios materiais (elementos sensíveis) deixados pela infração penal representando assim a materialidade do crime.

Em tempos remotos entendia-se por corpo de delito apenas o cadáver da vítima deixado em função do crime cometido. Agora o conceito se estendeu, além da pessoa, à toda coisa sobre a qual incida a conduta delituosa. Corpo de delito é a prova da existência do crime - o conjunto dos elementos tangíveis, físicos e materiais, principais ou acessórios, permanentes ou temporários, que atestam a prática criminosa -, que constitui objeto do exame de corpo de delito, a prova pericial que constata a materialidade do crime, realizada por perito oficial, portador de curso

superior ou, na sua falta, por duas pessoas idôneas portadoras de curso superior, preferencialmente na área específica do exame (CPP, Art. 159, caput e § 1º).

De acordo com o Código de Processo Penal (CPP) brasileiro é exigido o exame de corpo de delito nos casos em que haja vestígios, a fim de se comprovar a materialidade do fato (TEIXEIRA, 1998). Existem dois tipos de exame de corpo de delito: o primeiro é denominado de exame Direto, pois é feito sobre o próprio objeto ou coisa, *p.ex.*, no cadáver, numa janela quebrada, numa ferramenta, etc., o segundo é chamado de Indireto, pois advém de um raciocínio dedutivo sobre um fato narrado por testemunhas.

Desde que foi criado, através do decreto-lei nº. 3.689, de 3 de outubro de 1941, Código de Processo Penal Brasileiro (CPP) passou por várias reformas pontuais. Pouco mais da metade das alterações ocorreram após 1989. No TÍTULO VII - DA PROVA, o Capítulo I rege que:

Art. 155. O juiz formará sua convicção pela livre apreciação da prova produzida em contraditório judicial, não podendo fundamentar sua decisão exclusivamente nos elementos informativos colhidos na investigação, ressalvadas as provas cautelares, não repetíveis e antecipadas.

Art. 157. São inadmissíveis, devendo ser desentranhadas do processo, as provas ilícitas, assim entendidas as obtidas em violação a normas constitucionais ou legais.

§ 1º São também inadmissíveis as provas derivadas das ilícitas, salvo quando não evidenciado o nexo de causalidade entre umas e outras, ou quando as derivadas puderem ser obtidas por uma fonte independente das primeiras.

O Capítulo II que trata DO EXAME DO CORPO DE DELITO, E DAS PERÍCIAS EM GERAL, com relação o corpo de delito esclarece que:

Art. 158. Quando a infração deixar vestígios, será indispensável o exame de corpo de delito, direto ou indireto, não podendo supri-lo a confissão do acusado.

Diante da legislação brasileira acerca do trato com as provas materiais, é inevitável que os exames investigatórios e periciais necessários para investigar e depurar fatos delituosos cavalguem em sintonia com a mais fina das tecnologias disponíveis. Como vetor desse processo tem-se a Agência Brasileira de Inovação, empresa pública, cuja missão é promover o desenvolvimento econômico e social do Brasil por meio do fomento público à Ciência, Tecnologia e Inovação em empresas, universidades, institutos tecnológicos e outras instituições públicas ou privadas.

De forma emblemática, no ano de 2013, foram investidos R\$ 4,5 milhões no campo das ciências forenses, ao todo seis áreas receberam investimentos e financiamento para pesquisas, quais são: **Mineralogia Forense** com estudo voltado para definir as propriedades mineralógicas dos diamantes de terras indígenas. A premissa deste estudo é nobre, pois trata-se de mapear uma zona de conflito onde garimpeiros foram mortos devido ao comércio de pedras preciosas; **Química Forense** com o objetivo de traçar um perfil químico das drogas como cocaína e *ecstasy* apreendidas pelo Departamento de Polícia Federal em condições de tráfico; **Genética Forense** com a finalidade de construir um banco de dados de perfis genéticos de crianças e adolescentes desaparecidos; **Perícia Ambiental e Geoprocessamento Forense** que trata de Geotecnologias e processamento de imagens para apoio à investigação e perícia criminal, pretende verificar a aplicação e a confiabilidade de imagens de alta resolução em crimes ambientais e detecção de cultivos ilícitos, com a disponibilização das informações geográficas geradas e já existentes por meio de banco de dados; **Geofísica Forense** cujo projeto consiste em análises geofísicas que objetivem ensaios, testes e treinamento de pessoal na procura de objetos enterrados em campo e em terreno preparado; **Identificação Papiloscópica** com o objetivo de implementar e validar um algoritmo científico para realizar pesquisas em bancos de datilogramas de forma mais rápida e segura (FINEP, 2013). Com vistas a contribuir para uma solução mais eficaz e robusta nas análises científicas de evidências criminais e periciais, o Programa de Ciência e Tecnologia Aplicado à Segurança Pública, acima descrito, continua em desenvolvimento no Instituto Nacional de Criminalística (INC), em Brasília, com fins à apoiar e fomentar projetos de pesquisa, desenvolvimento de novas tecnologias, inovação e capacitação no campo das ciências forenses.

2.2. Balística: Aspetos históricos

A pólvora elemento sem o qual não existiria a arma de fogo, é uma invenção atribuída aos chineses; no entanto, o seu emprego como agente para impulsionar um projétil através de um cilindro oco surge muito tempo depois — a utilização e difusão desse invento são atribuídas aos árabes, os grandes comerciantes da Idade Média (<http://www.brasilecola.com/quimica/polvora.htm>).

Para os renomados professores Domingos Tochetto (2021) e Eraldo Rabello (1995), as primeiras armas de fogo aparecem, ainda que de forma precária, nas cruzadas e na expansão do Império Otomano, quando foi utilizada por algum dos povos muçumanos. No estudo de armas de fogo, torna-se fundamental o estudo da ciência balística, em especial da balística forense, pois são elas que estabelecem os parâmetros e procedimentos para a identificação e classificação desses instrumentos.

Balística, por definição, é a parte da física que estuda o impulso, movimento e impacto dos projéteis, entendendo-se por projétil qualquer sólido que se move no espaço após haver recebido um impulso. Outra definição é que estuda o movimento de corpos lançados ao ar livre, como uma pedra lançada no ar, mas geralmente está relacionada ao estudo dos disparos de projéteis de armas de fogo (TOCHETTO, 2021).

No caso de se estudar um projétil disparado por uma arma de fogo, tanto seu movimento quanto o período da investigação são divididos em três períodos distintos, quais são: balística interior, exterior e terminal (final ou de impacto), podendo assim classificá-las, conforme manual de Identificação de armas de fogo da Secretaria Nacional de Segurança Pública (SENASP, 2012).

Balística interior – A balística interior estuda os fenômenos físico-químicos que ocorrem entre o momento do disparo até o instante em que o projétil abandona a arma. Como também é responsável pela avaliação relativa à estrutura, mecanismo e funcionamento das armas, da carga de projeção e dos efeitos no processo de propulsão dos projéteis. Compreende, portanto, o estudo das armas e munições até o momento em que o projétil é expelido através do cano.

Balística exterior — Estuda o movimento dos projéteis no ar desde o momento em que ele abandona a boca do cano da arma até o primeiro impacto. Por conseguinte, estuda as resistências imposta pelo ar atmosférico durante a trajetória, a aerodinâmica e a velocidade inicial do projétil, o alcance útil e máximo, a influenciada força da gravidade, entre outros fatores.

Balística terminal — Estuda o movimento do projétil desde o primeiro impacto até a dissipação total de sua energia cinética, ou seja, até o seu repouso final. Estuda, por conseguinte, os efeitos dos impactos dos projéteis no alvo (ricochetes, as lesões e as características deixadas nos suportes pelos impactos dos projéteis). A balística das lesões é um ramo da balística terminal que estuda os efeitos dos projéteis em tecidos vivos.

O professor e perito criminal Eraldo Rabello (1995), em seu livro, define *Balística Forense* como: "[...] aquela parte do conhecimento criminalístico e médico-legal que tem por objeto especial o estudo das armas de fogo, das munições e dos fenômenos e efeitos próprios dos tiros dessas armas, no interesse da justiça, tanto penal como civil."

A balística forense (advém do adjetivo latino *forenses*, que significa “relativo ao fórum) é uma das áreas precursoras da criminalística. Em 1835, na Inglaterra, Henry Goddard notou um defeito num projétil retirado do cadáver de uma vítima. Nessa época, como as armas eram de antecarga (carregadas pela boca), os projéteis eram produzidos artesanalmente em moldes (coquilhas) próprios. Na casa de um dos suspeitos, ele encontrou um molde para projéteis que fabricava um projétil com um defeito semelhante. Essa prova fez com que o suspeito fosse condenado por homicídio (SENASP, 2012).

Lacassagne (Lyon — França, 1889) e o químico forense Paul Jeserich (Alemanha 1898) foram os pesquisadores que conseguiram, por técnicas diferentes, identificar armas pelos exames de projéteis incriminados. Balthazard, em 1912, publicou dois artigos que demonstravam as bases científicas do tema, intitulados “Identificação de projéteis de armas de fogo” e “Identificação de estojos de pistolas automáticas” (SENASP, 2012).

Vários outros cientistas também apresentaram inovações na balística forense, como a invenção do microscópio comparador balístico, por Gravelle em 1925 que juntamente com Waite, Fisher e Goddard, fazia parte do *Bureau of Forensic Ballistics*, em Nova York, e juntos desenvolveram inúmeros trabalhos e inventos para a balística forense. Em 1929, Goddard fundou o *Scientific Crime Detection Laboratory*, que em quatro anos investigou 1400 casos envolvendo armas de fogo (SENASP, 2012).

A descoberta da pólvora e o subsequente desenvolvimento das armas de fogo é um dos capítulos fundamentais da história do armamento e da guerra. “A partir do século XVI, [a pólvora] revolucionou não somente os métodos de combate, mas ainda os hábitos e em consequência a própria civilização. (...) É durante o século XVI que a história pôde comprovar o nascimento dos exércitos organizados, e a corrida para o desenvolvimento de armamentos” (FULLER, 1948).

As armas de fogo e suas munições continuaram a ser aprimoradas, e com elas o estudo na área de balística técnica, responsável pelo desenvolvimento dessas armas e munições, cresceu de forma impressionante. Os exames de balística forense não são o meio de prova, mas sim, um meio de obtenção de prova, sendo de carácter eminentemente científico, pelo que pressupõe formação específica dos investigadores e peritos. Os quais devem congrega formação específica nas áreas de armamento; munições; mecânica de armamento; técnica de tiro; balística; química e física.

2.2.1. Armas

Arma pode ser definida como qualquer objeto que possa ser utilizado para atacar ou ameaçar um ser bem como para autodefesa. Podem ser classificadas em diferentes tipos, como por exemplo: Arma branca (bastões, facas, espadas); Arma de fogo (revólveres, pistolas, espingardas, metralhadoras); Arma não-letal (eletrochoque, pistola com projéteis de borracha); Arma de efeito moral (barulhos altos ou luzes fortes); Arma química (gás de pimenta, gás lacrimogêneo); Arma biológica (vírus, contaminação bacteriana), etc. (FULLER, 1948).

Desde os primórdios, ainda na pré-história, o homem utilizou-se de instrumentos que marcaram a evolução das civilizações e das culturas. As armas, desde a sua aparição, têm sido um desses instrumentos que exerceram e continuam

exercendo um papel de destaque na história da evolução humana. De forma geral, é possível entender armas como um instrumento, máquina ou meio utilizado pelo homem para ofender ou defender-se (FULLER, 1948).

2.2.2. Armas de fogo

As armas de fogo são aquelas que utilizam a força dos gases gerada pela queima da pólvora para lançar um projétil. É um artefato que lança um ou muitos projéteis, geralmente sólidos, em alta velocidade através da queima de um propelente confinado. Este processo de queima subsônica é tecnicamente conhecido como deflagração, em oposição a combustão supersônica conhecida como detonação. Não existe consenso entre os historiadores acerca do surgimento das armas de fogo nem do início da sua utilização (HÄRNET, 1937).

Historiadores asseguram que o emprego das armas de fogo começa em 1257, quando os Mouros, povos que se instalaram na região da Península Ibérica durante a Idade Média, utilizaram na defesa de Niebla, cidade espanhola na província de Huelva, pequenos canhões que empregavam pólvora negra como propelente. A mais antiga representação de uma arma de fogo é uma escultura do século XII em uma caverna em Sichuan, na China. Trata-se de um vaso em forma de uma bombarda com chamas e uma bala de canhão saindo dela (HÄRNET, 1937). Para ilustrar esta parte histórica, apresenta-se a Figura 1 com uma bombarda.

Figura 1 - Bombarda



Fonte: <http://mmdcjaguariuna.blogspot.com.br/2015>

2.2.3 Classificação geral das armas de fogo

Segundo Rabello (1995), vários critérios podem ser adotados em uma classificação das armas de fogo. Esses critérios estão fundamentados em elementos intrinsecamente relacionados com a arma, observando as características específicas e diferenciadas, os quais são:

- Quanto à Alma do cano
- Quanto ao Sistema de inflamação
- Quanto ao Sistema de carregamento
- Quanto ao Sistema de funcionamento
- Quanto à Mobilidade e uso

Para esta pesquisa científica, nos reportaremos aos dois primeiros critérios de identificação, os demais ficam como sugestão para pesquisa.

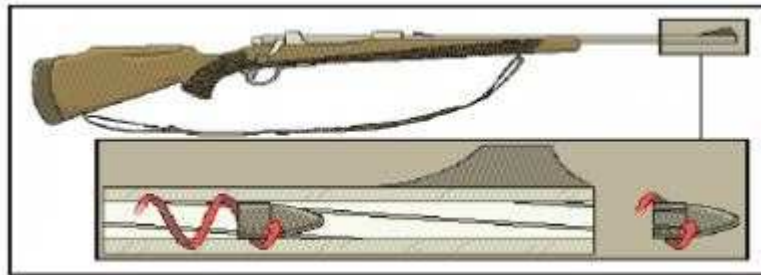
2.2.3.1 Classificação quanto à alma do cano

Quanto à alma do cano, as armas podem se apresentar como lisas ou raiadas. As espingardas de caça são, geralmente, armas de fogo dotadas de cano com alma lisa, podendo apresentar, ou não, um estrangulamento próximo à boca do cano, denominado choque. Neste tipo de arma, o calibre expressa-se como um número de esfera de chumbo de diâmetros iguais cuja massa corresponde a 1 libra (453,6 g de Pb). Isto é, o diâmetro de uma esfera corresponderá ao diâmetro do cano da arma. Exemplo: com 453,6 gramas de chumbo fabrica-se 12 esferas exatamente iguais, e uma dessas esferas é utilizada como referência para moldar o diâmetro do cano da arma, logo pode-se afirmar que esta arma é de calibre 12.

Já os revólveres, as pistolas, os fuzis, as submetralhadoras, as carabinas, os rifles e as metralhadoras, são armas de fogo dotadas de cano com alma raiada. Nas armas raiadas o calibre é dado em milímetros e em centésimos ou milésimos de polegada (38 polegadas ou 9 milímetros). O sistema americano adota a unidade centésimos de polegada, os franceses em milímetros e os ingleses em milésimos de polegada. O calibre é tomado exatamente nas raias dentro da boca do cano, como será visto adiante, no quinto capítulo deste trabalho. As raias são saliências

encontradas na face interna do cano que imprimem um movimento de rotação ao projétil, dando-lhe uma trajetória estável. Como se ver, na Figura 2, sulcos paralelos e helicoidais imprimem no projétil um movimento giratório em torno do seu eixo, estabilizando a sua trajetória.

Figura 2 - Arma com cano de alma raiada



Fonte: www.ebah.com.br/content/carabinapuma, 2010

As Figuras 3 e 4 ilustram o estriamento (do inglês: *Rifling*) que é o processo onde ranhuras helicoidais no cano de uma arma ou arma de fogo conferem uma rotação a um projétil em torno do seu eixo mais longo. Esse giro serve para estabilizar o projétil giroscopicamente, melhorando sua aerodinâmica estabilidade e precisão. O estriamento é descrito frequentemente pela sua taxa de torção, o que indica a distância que o projétil deve percorrer para completar uma volta completa, por exemplo: 1 volta em 10 polegadas (1:10"), ou 1 volta em 254 milímetros" (1:254 mm). A distância mais curta indica um toque "mais rápido", o que significa que, para uma dada velocidade, o projétil sairá girando a uma maior taxa de rotação. A combinação de tamanho, peso e forma de um projétil determina a taxa de torção necessária para estabilizá-lo.

Figura 3 - Estriamento à direita no cano de uma pistola calibre 9 mm



Figura 4 - Cano raiado de arma antiaérea



Fonte: www.colecionadordearmas.blogspot.com.br/2012

2.2.3.2 Classificação quanto ao sistema de inflamação

Os sistemas de inflamação das armas passaram por uma grande evolução desde a sua criação, ocorrendo por mecha (primeiras armas construídas), por atrito (roda e miquelete) ou por percussão. Nas primeiras armas de fogo, ainda na Idade Média, para realizar o disparo era necessária à utilização de uma haste de ferro incandescente, carvão em brasa ou outros meios de chama direta, que eram introduzidos em um orifício na câmara de combustão (FERREYRO, 2007).

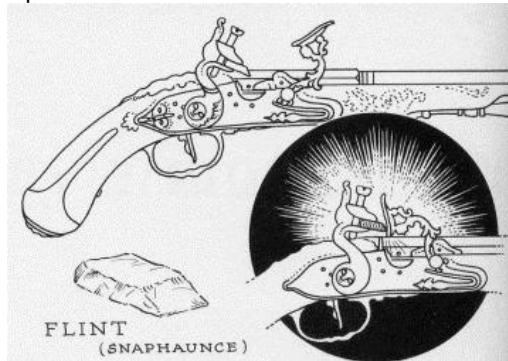
Como esse sistema não era prático para as armas portáteis, ele foi substituído por uma mecha que conduzia a chama para a câmara de combustão e, assim, iniciava-se a queima da pólvora (Figura 7). Denominado de **iniciação por mecha**, esse sistema, totalmente obsoleto, apresentava enormes dificuldades, tanto em relação ao controle do tempo de queima e de disparo. Uma questão também a ser resolvida era quanto às condições de armazenamento das mechas, pois deveriam ser bem acondicionadas e protegidas contra a umidade, além do mais ofereciam sérios riscos aos atiradores (FERREYRO, 2007).

Esse sistema foi substituído pelo **sistema de fecho de roda**, que utilizava o atrito como iniciador da queima de propelente. Conforme ilustrado nas Figuras 5 e 8, o sistema de roda é originário dos relógios de Nuremberg (Alemanha). Consistia em uma roda na qual se dava corda e, ao acionar o gatilho, era produzido o atrito de uma pedra de perita com o metal, causando faíscas, que por sua vez, incendiavam a pólvora, produzindo a deflagração da pólvora e o disparo da arma. Variações desse sistema de roda surgem em toda a Europa, como o sistema holandês *Snaphaunse* (Figura 6), e como o sistema *Miquelete* na Espanha (FERREYRO, 2007).

Figura 5 - Exemplo de fecho snaphaunce, arma fabricada na Alemanha em 1685



Figura 6 - O termo Snaphaunce se deriva do holandês schnapp-hahn, que literalmente significa "galo que bica"



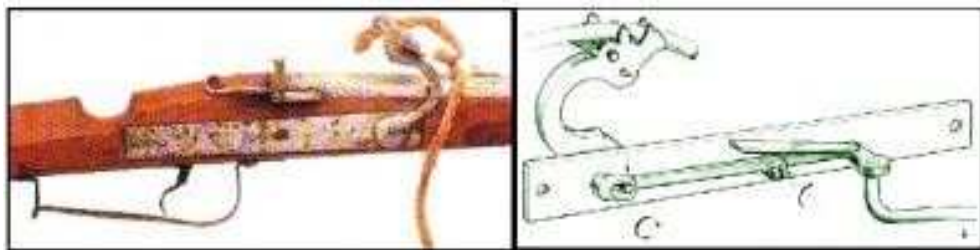
Fonte: <http://armasonline.org/armas-on-line/sistemas-de-ignicao-em-armas-de-fogo/2012>

A descoberta da espoleta é atribuída ao reverendo escocês Alexander John Forsyth. Em 1807, ele obteve a patente de um engenho de percussão que utilizava uma mistura detonante (fulminato de mercúrio ($\text{Hg}(\text{ONC})_2$, descoberto em 1779 por Haward) que, por sua vez, iniciava a queima da pólvora ou propelente. Em 1815, Joshua Shaw desenhou a espoleta em cápsula, com fulminato contido em um pequeno cálice de metal — geralmente de cobre em virtude de sua maleabilidade —, surgindo assim o **sistema de percussão** (Figura 7 e 8), que significa choque violento (FULLER, 1948).

Nesse sistema, uma pequena quantidade de explosivo é depositada no fundo de um objeto metálico, de formato semelhante a um pequeno copo, o qual é colocado sobre a extremidade de um pequeno tubo que se comunica com a câmara por meio de um pequeno orifício (ouvido). O impacto do percussor comprime a cápsula de espoletamento contra as paredes do tubo (chaminé), gerando a detonação do explosivo e, conseqüentemente, levando para o interior da câmara uma quantidade de gases aquecidos, calor e chama que geram a deflagração do propelente. Como essa espoleta é uma peça isolada (separada do cartucho), as armas que a utilizam são ditas de percussão extrínseca, quando a cápsula contendo a carga detonante, também chamada de carga de ignição ou fulminante é uma peça isolada que se adapta a um pequeno tubo saliente ligado à câmara de combustão através de um canal chamado ouvido ou chaminé (FULLER, 1948).

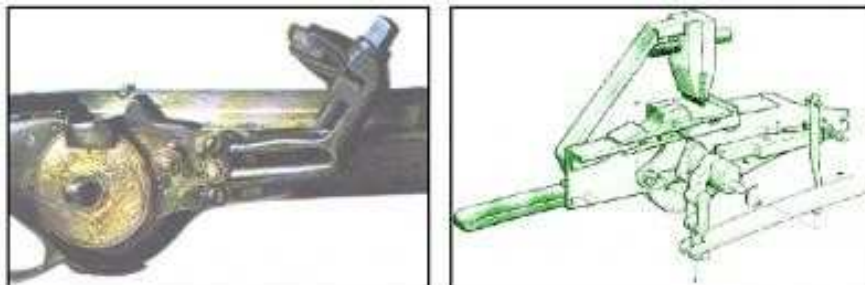
A deflagração dá-se no momento em que o percutor (ou percussor) se choca contra esta cápsula, detonando-a, forçando os gases incandescentes para a câmara de combustão, podendo ser citado como exemplo alguns tipos de garruchas e espingardas. Com o aparecimento do cartucho, surgiu também o sistema de percussão intrínseca, que se caracteriza quando a cápsula detonante ou espoleta é parte integrante do cartucho que contém o propelente e o projétil. É subdividida em Central: quando a espoleta é fixada no centro do culote do cartucho, e Radial, anular ou circular: quando a percussão se dá na borda do culote do cartucho (FULLER, 1948). Mesmo transcorridos muitos anos, esse sistema permanece atual e é largamente utilizado nos nossos dias.

Figura 7 - Sistemas de Inflamação por mecha



Fonte: SENASP, 2012

Figura 8 - Sistemas de inflamação por atrito - fecho de roda



Fonte: SENASP, 2012)

2.2.3.3 Sistema de inflamação por percussão

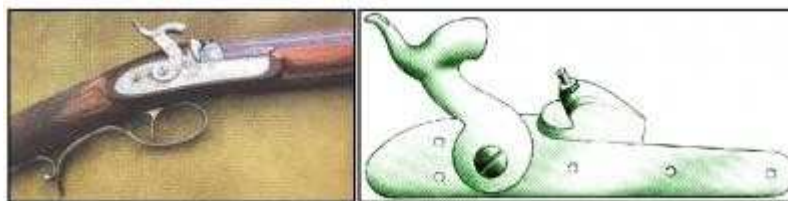
A inflamação por percussão pode ser extrínseca e intrínseca:

2.2.3.3.1 Inflamação por percussão extrínseca

Inflamação por percussão extrínseca São exclusivamente as armas portáteis de antecarga e de percussão (Figura 9), nas quais a cápsula de espoletamento é uma peça isolada, colocada externamente sobre um pequeno tudo saliente, denominado

por alguns de chaminé, que se comunica por um ouvido com carga de projeção (pólvora) contida no interior do cano (RABELLO, 1995).

Figura 9 - Percussões extrínseca - arma de antecarga



Fonte: SENASP, 2012

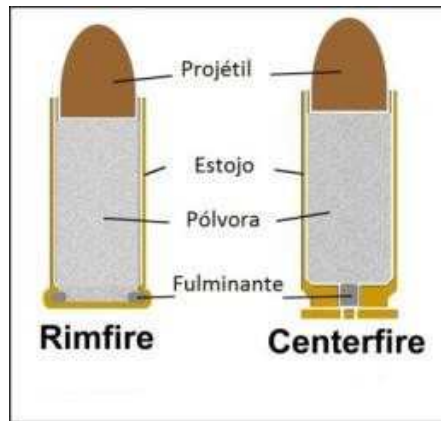
2.2.3.3.2 Inflamação por percussão intrínseca

Inflamação por percussão intrínseca são mais práticas e o manejo é mais fácil. As armas de inflamação intrínsecas são as mais usadas e as mais fabricadas, na atualidade. São armas de percussão e de retrocarga, cuja munição é constituída por cartuchos, nos quais está embutida a cápsula de espoletamento ou espoleta (RABELLO, 1995).

Conforme o cartucho utilizado, as armas de percussão intrínseca podem ser de percussão central (cartuchos que possuem a espoleta ou cápsula de espoletamento embutida no centro de seu culote ou base metálica), percussão radial (não possui espoleta e a mistura iniciadora — carga de inflamação, está disposta em anel, no interior da orla oca, saliente, do próprio culote do estojo) e pino lateral (faz parte do próprio cartucho e fica saliente, sendo ativado pelo cão da arma). A Figura 10 traz duas ilustrações na qual a chamada *RIMFIRE*, representa a percussão radial e a *CENTERFIRE* a percussão central.

Há dois tipos de percussão: direta e indireta. A percussão é direta quando o percutor é o próprio cão ou está montado neste, podendo ser fixo ou móvel (flutuante). É indireta quando o percutor é uma peça inerte, retrátil, a qual é acionada pelo impacto do cão, à ocasião do tiro.

Figura 10 - Cartuchos de fogo radial (esquerda) e central (direita)



Fonte: <http://1911guns.wordpress.com/tag/fogo-circular>, 2012

2.3 Sistemas de confecções de raias

O processo de fabricação de canos de armas de fogo apresenta como característica intrínseca a diferenciação de cada cano em função da ferramenta e do método de construção empregado. As principais indústrias brasileiras de armas confeccionam o raiamento de suas armas, usando sistemas e tecnologias próprias. São três os métodos para a produção de raiamentos de canos de armas de fogo: sistema de usinagem ou brochamento por corte, brochamento por bilha e martelamento ou forjamento a frio (TOCCHETTO, 1999).

Os canos dos revólveres e das pistolas Taurus, são forjados em aço carbono, aço inoxidável, titânio e alumínio. Eles possuem um raiamento formado por quatro, cinco ou seis raias dependendo do calibre, orientadas para direita ou destrogirante (TOCCHETTO, 2013).

2.3.1 Sistema de usinagem

Consiste em perfurar o cano com uma ferramenta, chamada broca de canhão, realizada num só ato, possibilitando a calibração do diâmetro interno do cano para a dimensão exata do calibre real, ou seja, aquele que será medido entre dois ressalto do cano, no caso de número par de raias, ou entre um ressalto e um cavado do cano, no caso de número ímpar de raias. Em seguida, é utilizada uma broca de tamanho maior que produz o raiamento por usinagem, ou seja, retira o material (aço)

correspondente à parte cavada do raiamento. O raiamento é feito com uma só broca ou navalha, podendo cada ferramenta confeccionar raiamento de 1.500 a 8.000 canos pelo mesmo processo. Cada boca sofre, em média, dez afiações (TOCHETTO, 1999).

2.3.2 Sistema de brochamento por bilha

Este sistema consiste em perfurar os canos com uma broca de diâmetro ligeiramente inferior à dimensão do calibre real. Em seguida, a broca é passada através da alma do cano, produzindo o raiamento. Tal broca possui diâmetro ligeiramente superior ao do furo do cano, contendo em sua superfície externa a forma contrária à do raiamento desejado (TOCHETTO, 1999). Ao ser tracionada, as partes salientes da broca vão formar as raias e o material que ocupava o espaço das mesmas é deslocado para o lado (encruamento) formando os cheios. Não há, neste processo, retirada de material. As brocas utilizadas para produzir raias por este processo não sofrem afiação, pois, uma vez que apresentam desgaste, são inutilizadas e substituídas por novas, podendo cada broca confeccionar até 8 mil canos de revólver (RABELLO, 1995).

2.3.3 Sistema de martelamento

O mecanismo de confecção das raias por martelamento ou forjamento a frio consiste em forçar a passagem de uma barra cilíndrica de aço, furada e polida internamente, em um espaço inferior ao seu diâmetro externo, formado por quatro martelos situados de forma radial e simétrica em relação ao eixo da barra cilíndrica. No interior da barra, é introduzida a ferramenta responsável pela formação das raias, em formato cônico e superfície externa contrária ao raiamento que se pretende imprimir a arma (RABELLO, 1995).

A barra cilíndrica ao passar pelos martelos recebe 1.100 impactos por minuto, com uma pressão de forjamento de 10 toneladas, ocasionando a redução do diâmetro externo, com aumento do comprimento e impressão interna dos raiamentos do cano. As profundidades das raias dos canos da marca IMBEL, oscila entre 0,102mm e 0,105mm.

Na parte interna dos canos do FAL (Fuzil Automático Leve) é feita uma

cobertura por uma camada de cromo duro, de 20 micra de espessura cuja finalidade é de diminuir o desgaste das raias, aumentando a vida útil do cano para 16.000 tiros. Cada mandril, que é de tungstênio de altíssima dureza, pode confeccionar raiamento de 8.000 barras cilíndricas. Para a Pistola calibre .380 Auto, a barra raiada será cortada e dará origem a quatro canos (RABELLO, 1995).

Como os diâmetros dos projeteis são, em regra, maiores que o diâmetro interno do cano, a pressão dos gases da combustão força o projétil contra as paredes da alma do cano com tamanha força que todas as marcas ali existentes são transferidas para a área lateral dos projeteis. Todos os processos citados ocasionam micro deformações no interior do cano da arma, sendo elas variantes, mesmo em armas cujos canos foram fabricados com a utilização da mesma ferramenta.

Tal diferença se justifica, uma vez que os metais não são perfeitamente homogêneos e a ferramenta sofre desgastes a cada mil metros percorridos durante o processo, diferenciando as deformações e permitindo que cada arma tenha uma característica única (RABELLO, 1995). Além desse fato, os fabricantes têm sempre o cuidado de separar as peças produzidas pelas mesmas ferramentas em lotes e destinações diferentes, justamente para evitar que armas fabricadas pela mesma peça sejam utilizadas em regiões geográficas próximas.

2.4 Estudo dos calibres das armas de fogo

Define-se calibre como a medida do diâmetro interno do cano de uma arma, como a medida entre os fundos do raiamento; como a medida do diâmetro externo de um projétil sem cinta; é a dimensão usada para definir ou caracterizar um tipo de munição ou de arma” (Decreto nº 3.665, art. 3º, inciso XXXV).

Os calibres (diâmetro interno do cano) das armas são usualmente denominados em milímetros ou polegadas. Por exemplo, o calibre .45 ACP, na denominação americana, significa que o diâmetro do cano (e do projétil) é de 45 centésimos de polegada, o que corresponde a 11,43 mm. Como outro exemplo o calibre .40 da Pistola Taurus, na denominação americana, significa que o diâmetro do cano é de 40 centésimos de polegada, correspondendo a 10,16mm (SENASP, 2012).

Entretanto, os calibres das espingardas de chumbo foram estabelecidos há muitos anos e não foram baseados em qualquer sistema convencional de medida. Tomou-se, como base, o número de esferas de chumbo que perfazem uma libra. Converteu-se uma libra (453,6 g) de chumbo puro em 12 esferas de igual peso e diâmetro (Figura 11). Se uma dessas esferas se encaixava perfeitamente num determinado cano, o calibre era “12”. Estas esferas tinham 0,730 polegada de diâmetro, ou seja, 18,5 mm. De igual peso de chumbo (1 libra), foram feitas 16 esferas e chegou-se ao calibre 16 (SENASP, 2012), assim procedendo-se com os demais calibres, como exemplificado na Tabela 1 que traz uma gama de oito calibres e suas correlações com seus respectivos diâmetros.

Figura 11 - Verificação do calibre de uma arma não raiada



Fonte: SENASP, 2012

Tabela 1 - Relação dos calibres em armas de alma lisa e suas medidas

CALIBRE	DIÂMETRO (mm)
10	19,3 – 19,7
12	18,2 – 18,6
16	16 – 17,2
20	15,6 – 16,0
24	14,7 – 15,1
28	14,0 – 14,4
32	12,75 – 13,15
36 (410)	1,414

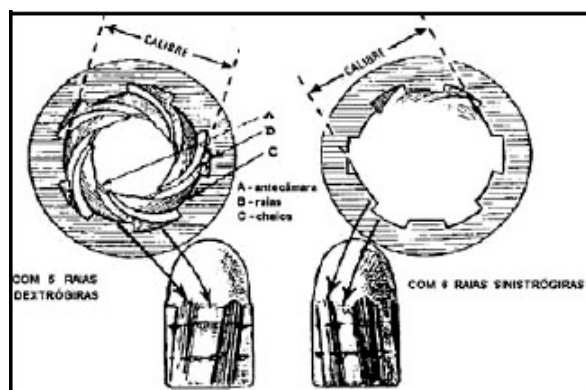
Fonte: TOCHETTO, 2003

2.4.1 Calibre das armas de cano de alma raiada

2.4.1.1 Calibre real

O calibre real corresponde ao diâmetro interno da alma do cano, que é medido entre cheios, isto é, medido diretamente na boca do cano desconsiderando-se a profundidade do raiamento (calibre real), conforme Figura 12.

Figura 12 - Determinação do calibre real em canos de alma



Fonte: Rabelo, 1995

O calibre real é expresso em milímetros ou fração de milímetros, nos países que adotam o sistema métrico francês, e em fração de polegada, nos que ainda usam o sistema inglês de pesos e medidas. Quando se trata de número de raias PAR, a medida é realizada entre cheios diametralmente opostos (RABELLO, 1995). No caso de número ímpar a medida é feita entre um cheio e a delimitação entre o cheio e a raia oposta, conforme ilustrado na Figura 13.

Figura 13 A e 13 B - Verificação do calibre em canos com raias pares e ímpares



Número par de raias



Número ímpar de raias

Fonte: SENASP, 2012

2.4.1.2 Calibre nominal

Quando um cano de arma de fogo é fabricado, ele é furado, alargado e lapidado até um pré-determinado diâmetro, de acordo com cada calibre. Este diâmetro, medido antes da usinagem do raiamento, é chamado de “calibre real” ou “diâmetro entre cheios”. Após a execução do raiamento, surge um novo diâmetro, que é medido entre os fundos de raias opostas, e que é chamado de “calibre do projétil” ou “diâmetro entre fundos”, correspondendo ao calibre do projétil a ser utilizado naquele cano (RABELLO, 1995).

O diâmetro do projétil é maior que o calibre real, e desta forma, ao ser disparado, o projétil é forçado contra as raias, adquirindo, durante sua passagem pelo cano, a rotação determinada pelos sulcos do raiamento e a estabilidade necessária para sua trajetória. O Calibre nominal é sempre designado de um tipo particular de munição e também da arma, na qual essa munição deva ser usada corretamente (RABELLO, 1995). É a correlação perfeita entre arma e munição.

Na prática, o que determina numa arma o calibre nominal é a configuração interna da câmara na qual vai alojar-se o cartucho. Assim para cada tipo de calibre real pode haver vários tipos de calibres nominais. O calibre real 8,9 mm, tem o calibre 9 mm como nominal. No caso do calibre nominal .38 utilizado em revólveres dentre outros, pode citar o .38 SWC, .38 SWL, .38 SPL, .38 SPL+P, .38 SPL+P+, .357 Magnum, como nominais. Logo, armas com o mesmo calibre real usarão munição diferente por ter calibre nominal diferente indicado pela arma (TOCHETTO, 2013).

2.4.1.3 Calibres nominais X Calibres reais

Quando uma arma é destinada a consumir um determinado tipo de munição, deve ser designada por um calibre nominal específico. A utilização de cartuchos não apropriados pode ser prejudicial ao rendimento e à conservação da arma, bem como à integridade física do atirador (CIBRIAN, 2007). Normalmente, o calibre da arma é designado pelo calibre nominal da munição a ela correspondente, e esse calibre é gravado no cano dos revólveres e, nas pistolas, em uma das faces laterais do ferrolho. A Tabela 2 apresenta entre os calibres nominais e os calibres reais.

Tabela 2 - Relação entre os calibres nominais e os calibres reais

CALIBRES NOMINAL AMERICANO	CALIBRES EQUIVALENTE	CALIBRES REAL
.22	5,59 mm	5,60 mm
.25	6,35 mm	6,35 mm
.30	7,62 mm	7,00 mm
.32	8,13 mm	7,65 mm
.38	9,65 mm	8,90 mm
.44	11,18 mm	10,8 mm
.45	11,43 mm	11,25 mm

Fonte: TOCHETTO, 2003

2.4.1.4 Calibre das armas de cano de alma lisa

2.4.1.4.1 Calibre real

O calibre real das armas com canos de alma lisa é à medida que corresponde ao diâmetro interno do cano, tomada em sua região mediana. Esta medida não deverá ser tomada na boca do cano da arma, devido ao choque, estreitamento da alma do cano, em sua boca, com o objetivo de produzir maior velocidade e conseqüentemente produzir melhor agrupamento dos chumbos, visando a obtenção de maior alcance e precisão do tiro.

2.4.1.4.2 Calibre nominal

O calibre nominal é um número que indica a quantidade de esferas de chumbo, com diâmetro igual ao da alma do cano (calibre real) da arma considerada, necessárias para formar o peso (massa) de uma libra (453,6 g).

2.4.1.4.3 Nomenclatura dos calibres nominais

Na nomenclatura adotada para os calibres nominais encontram-se designações agrupadas em três sistemas: Sistema americano, Sistema inglês, Sistema europeu.

Sistema americano

Os Estados Unidos não só é um dos maiores produtores de arma, como também um dos maiores mercados consumidores de armas de fogo (SENASP,2012).

No seu sistema, é comum a utilização de dois números significando o diâmetro do projétil em centésimos de polegada seguido de letras, palavras ou números com significados diversos, tais como:

- Uso de letras para designar tipos de arma a que se destinam: .380 ACP E .45ACP (*Automatic Colt Pistol*);
- Uso de adjetivos indicando o tamanho do cartucho: .22 Short (pequeno ou curto); .22 Long (longo); .22 LR - Long rifle (rifle longo);
- Uso de adjetivos identificando o tamanho e a identificação do fabricante que o produziu: .41 Long Colt, .38 Long Colt;
- Uso de logomarcas ou dos nomes, identificando os fabricantes: .38 Smith & Wesson, .223 Remington, .308 Winchester;
- Uso de expressões de efeito publicitário: .22 Hornet; .357 Magnum; .44 Magnum.

Sistema inglês

O sistema inglês é muito similar ao usado na América do Norte. Nele o calibre é definido a partir de geralmente três números indicando o diâmetro do projétil em milésimos de polegadas (algumas vezes em centésimos de polegadas) e acrescenta nomes para facilitar a identificação de quem o produziu, por exemplo: .280 Jeffery e .505 Gibbs (SENASP, 2012).

Sistema europeu

Esse sistema é por muitos considerado o melhor sistema, pois permite a maior obtenção de dados sobre o cartucho sem a consulta de manuais ou outros informativos. Observe os detalhes do sistema, abaixo:

- As dimensões do projétil e do estojo são dadas em milímetros e são apresentadas em dois grupos de números, podendo apresentar ou não letras como sufixo;
- O primeiro grupo de números identifica o diâmetro do projétil (calibre) e o segundo, o comprimento do estojo;
- A ausência de qualquer letra após o calibre significa que o estojo é sem aro (caso da grande maioria das pistolas);
- Se o estojo não for desse tipo, é usado, após o conjunto de números, algumas

letras como sufixo como: a letra R para estojos com aro, as letrasSR para semiaro, B para cinturado e RB para rebatido. Exemplos: 5,56 x 45mm; 7,62 x 51mm; 8 x 60mm; 9,3 x 72 R; 9,3 x 80 mm.

Com o passar do tempo, como alguns calibres ficaram muito conhecidos, o segundo grupo de números foi omitido, a exemplo dos conhecidos 6,35 e o 7,65 mm (SENASP, 2012). O uso de nomes com ou sem o segundo grupo de números também é comum, por exemplos, 7,65mm Parabellum, 9mm Parabellum, 5,5mm Velodog. Devido à existência de diferentes sistemas, um cartucho pode ser conhecido ou comercializado com diferentes nomes, como os listados na Tabela 3.

Tabela 3 - Diferentes nomenclaturas para os mesmos cartuchos

CALIBRES REAIS	NOMES COMERCIAIS
22 Hornet	5,6 x 35 Rmm
25 ACP	6,35 mm
32 ACP	7,65 mm
30 Luger	7,65 mm Parabellum
9mm Luger	9 mm Parabellum (9 x 19mm)
30 Nato	7,62 x 51 Rmm
30 Mauser	7,63 mm Mauser
380 ACP	9 mm Browning Short (Kurtz)
30-06	7,62 x 63 mm

Fonte: TOCHETTO, 2003

2.5 Classificação geral das armas de fogo

Quanto ao uso, as armas podem ser classificadas em armas de uso coletivo e em armas de uso individual, dependendo, para tanto, da quantidade de pessoas necessárias para o seu funcionamento. Em relação à mobilidade, normalmente se adota as definições contidas no Decreto Nº 3.665, de 20 de novembro de 2000 (R-105), que é o texto legal sobre esse tema, transcrito a seguir:

I. Arma não portátil — “arma que, devido às suas dimensões ou ao seu peso, não pode ser transportada por um único homem”. Os exemplos mais comuns são as peças de artilharia. (art. 3º, inciso XX);

II. Arma de porte — “arma de fogo de dimensões e peso reduzidos, que pode ser portada por um indivíduo em um coldre e disparada, comodamente, com somente uma das mãos pelo atirador; enquadram-se, nesta definição, pistolas, revólveres e garruchas”. (art. 3º, inciso XIV), como será visto mais detalhadamente a seguir;

III. Arma portátil — “arma cujo peso e cujas dimensões permitem que seja transportada por um único homem, mas não conduzida em um coldre, exigindo, em situações normais, ambas as mãos para a realização eficiente do disparo” (art. 3º, inciso XXII). Nessa definição, enquadram-se os fuzis, as carabinas e espingardas, as metralhadoras entre outras.

2.5.1 Armas de porte - Pistola

Especificamente as armas de porte são as que, por suas características de peso e dimensões reduzidas e pela facilidade de manejo, são comumente utilizadas na prática de crimes e no seu combate, e, por conseguinte, de maior interesse para a polícia, especificamente para a criminalística e para a balística forense.

No capítulo que retratará a parte experimental desta pesquisa verificar-se-á a exposição de motivos, que a arma que fora utilizada na totalidade dos testes destinados a coleta de dados, foi a Pistola da marca Taurus, de calibre .40 modelo PT 100 (Figura 14). Decorrente de seu moderno mecanismo, essa Pistola é uma das armas mais utilizada pelas corporações de Segurança no combate diário a criminalidade, segue abaixo um breve histórico acerca desse instrumento.

Figura 14 - Perspectiva explodida de uma pistola com carregador unifilar - Departamento de Polícia Federal



Fonte: <http://armasonline.org/armas-on-line/novo-a-pistola-taurus-pt-57/>, 2012

O nome “pistola” é um termo genérico que já designou diversos tipos de armas, desde pequenos punhais ou adagas no século XV, passando por armas auxiliares da

cavalaria, no século seguinte, até todas as armas de fogo curtas, que poderiam ser empunhadas com uma mão no século XVIII.

Normalmente, quando se refere as pistolas nos dias de hoje, reporta-se as ditas semi-automáticas, ou seja, a armas de porte, que aproveitam a força expansiva dos gases para operar o mecanismo que irá extrair da câmara o estojo deflagrado, ejetá-lo, e, com o retorno do mecanismo à posição de disparo (inicial), introduzir um novo cartucho na câmara, deixando-a em condições de efetuar um novo tiro.

Pistolas são armas em que, enquanto existir munição no carregador, a introdução de um novo cartucho na câmara é realizada de forma automática após o disparo ter sido efetuado, sendo necessário acionar a tecla do gatilho para todo o disparo que se deseje fazer — embora existam pistolas automáticas, como a pistola Glock, modelo G18 C, que realiza rajadas de três tiros, e outras capazes de efetuar disparos automáticos (FERREYRO, 2007).

2.5.2 Breve histórico

As pistolas semiautomáticas desenvolveram-se a partir da metralhadora criada por Hiram Maxim em 1883, que usava a ação dos gases no momento do disparo para retirar o estojo deflagrado e colocar outro cartucho na câmara. As experiências de Maxim desenvolveram-se a partir de carabinas Winchester 1866, calibre .44-40. O primeiro modelo de pistola semiautomática foi criado pelo armeiro alemão Hugo Bochardt em 1894 (SENASP, 2012).

Em 1896 surgiu o modelo C-96, criada por Paul Mauser, que foi utilizada em diversas revoluções e guerras, a exemplo da guerra dos Bôeres, que foram dois confrontos armados na região da África do Sul, que opuseram os colonos de origem holandesa e francesa, os chamados Bôeres, ao exército britânico, que pretendia se apoderar das minas de diamante e ouro recentemente encontrados naquele território. Como resultado, os Bôeres ficaram sob o domínio britânico na África do Sul. No mesmo ano, surgiu a pistola Luger, criada por George Luger e adotada pelo exército alemão em 1908, no calibre 9mm Luger (SENASP, 2012).

O armeiro John Browning, a partir de 1900, desenvolveu pistolas para a Colt e FN — desde a clássica Colt, modelo 1911, até a Browning *High Power*, comercializada em 1935, que foi a primeira pistola com carregador bifilar. Browning foi o responsável pelos cartuchos mais conhecidos de pistola, como o .25 ACP (6,35 x 16mm), o .32 ACP (7,65 x 17mm) e o .380 ACP (9 x 17mm). A primeira pistola de ação dupla foi a Walter PP, desenhada em 1929 para uso policial (SENASP, 2012). Assim, como diversas outras melhorias, que vêm aperfeiçoando as pistolas até os dias de hoje.

3. RESÍDUOS DE ARMA DE FOGO (GUNSHOT RESIDUES - GSR)

A cada dia novos métodos e técnicas vêm sendo desenvolvidos e a Criminalística, pela sua característica multidisciplinar, tem sido uma das áreas mais privilegiadas pela constante evolução científica e tecnológica destes novos métodos e equipamentos, a serviço da elucidação dos variados tipos de crimes (MAIA, 2010).

Inseridos no escopo da Criminalística estão a Balística e a Química Forense, e permeando estas duas áreas está a identificação de partículas derivadas de disparo por arma de fogo (*gunshot residues - GSR*). Ela constitui uma importante ferramenta em investigações dentro do campo das ciências forenses (MAIA, 2010).

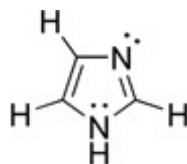
Os resíduos de disparo de arma de fogo são formados pela detonação da espoleta, deflagração do propelente, somados aos metais ou liga metálicas formadoras dos estojos e dos projéteis. Uma parte destes resíduos sólidos permanece dentro do cano, nas partes internas do tambor (no caso dos revólveres), em partes do ferrolho (no caso das pistolas), ao redor da câmara de percussão, nas mãos e vestes do atirador e também no alvo (FEITAS, 2010). Assim, por meio dos resíduos característicos deixados pelo disparo, é possível estabelecer vínculos entre **ATIRADOR-ARMA-ALVO**, através das análises químicas qualitativas e quantitativas das partículas encontradas.

De acordo com a literatura (ROMOLO, 2001), a identificação definitiva de uma partícula como resíduo de disparo de arma de fogo (GSR) depende da presença simultânea de chumbo (Pb), bário (Ba) e antimônio (Sb) presentes no mesmo particulado. Outro aspecto importante são as características morfológicas e químicas, que também devem fornecer evidências que a partícula foi formada em altas temperaturas, por processo de fusão, tendo sido composta por no mínimo os três metais mencionados (BASU, 1982).

Em 1998 a Companhia Brasileira de Cartuchos lançou no mercado cartuchos denominados *clean range®* (ambiental), cuja mistura iniciadora da espoleta não continha Pb, Ba e Sb, mas composto a base de diazol, observado na Figura 15, (composto cuja estrutura química contém dois átomos de nitrogênio, que se conectam a três de carbono, possuindo a propriedade de ser inibidor de processos corrosivos em metais de transição, como o cobre), nitrato de estrôncio, pólvora e tetrazeno (que são cristais incolores ou amarelados com densidade de 1,7 g/cm³, é insolúvel em água, pode: ser preparado pela adição de nitrato de sódio ao carbonato de

aminoguanidina dissolvidos em uma solução diluída de ácido acético a 30 °C, é um explosivo primário com baixa temperatura de explosão, sensível a impactos tanto quanto o fulminato de mercúrio). Os subprodutos resultantes da detonação dessa mistura produziam: monóxido de carbono, dióxido de carbono, vapor d'água, nitrogênio, e óxido de estrôncio (KOONS, 1998). A partir de 2002 a mistura passou a ter a seguinte composição: diazól, tetrazeno, nitrocelulose, nitrato de potássio, vidro e alumínio.

Figura 15 - Estrutura química do Diazol

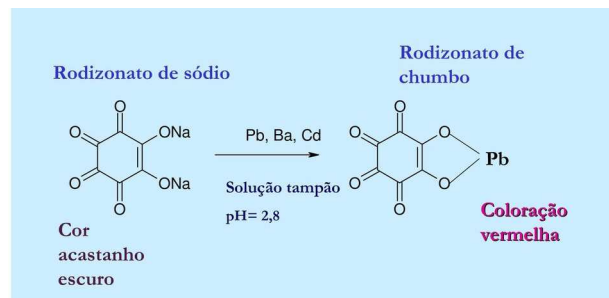


Fonte: <http://www.quimica.net/emiliano/>

Mudanças evolutivas, nos últimos anos, ocorreram na metodologia para detecção de partículas de resíduos de disparo de arma de fogo (*GSR*). Inicialmente buscavam-se prioritariamente resíduos de compostos nitrogenados da pólvora. Passou-se a investigar resíduos derivados da carga iniciadora, cuja composição mais usual apresenta chumbo (Pb), bário (Ba) e antimônio (Sb) derivados do estifinato de chumbo, nitrato de bário e sulfeto de antimônio, respectivamente (TOCHETTO, 2003).

Diante do exposto, como observado na figura 16, os laboratórios forenses passaram a incrementar suas análises através dos testes colorimétricos por química úmida, como o realizado com rodizonato de sódio (solução ácida (pH = 2,78), tem a propriedade de reagir com a presença do chumbo iônico, formando o rodizonato de chumbo de cor vermelha- púrpura), produto de desprotonação do Ácido Rodizônico (C₆H₂O₆), para detecção do chumbo do projétil, foram utilizados em larga escala nos mais variados Institutos de Criminalística do país (PLATTNER, 2003), porém atualmente não são considerados tão sensíveis na identificação de tais partículas já que permitem apenas a identificação qualitativa de um dos elementos principais da munição, apresentando resultados positivos para chumbo de diversas naturezas, não sendo exclusivo do balístico.

Figura 16 – Rodizonato de Sódio



Fonte: Bartsch (1996)

O chumbo presente nos vestígios de disparo pode ser proveniente do agente detonador da espoleta, na qual encontra-se presente na forma de 2,4,6 trinitroresorcinato de chumbo ($C_6HN_3O_8Pb$); da carga de espoleteamento, na forma de estifinato de chumbo; bem como pode ser gerado pelo atritamento do corpo dos projéteis de chumbo com as paredes internas do cano da arma (MOREIRA, 1999).

A análise química de chumbo consiste na coleta prévia de amostra das mãos do suspeito, mediante aplicação de tiras de fita adesiva do tipo esparadrapo nas mesmas e subsequente imobilização dessas tiras em superfície de papel de filtro. As referidas tiras, ao serem borrifadas com solução acidificada de rodizonato de sódio, ao apresentarem um espalhamento de pontos de coloração avermelhada, significa resultado positivo para a presença de chumbo metal (MOREIRA, 1999). Tal exame é conhecido como teste residuográfico, conforme ilustrado na Figura 16.

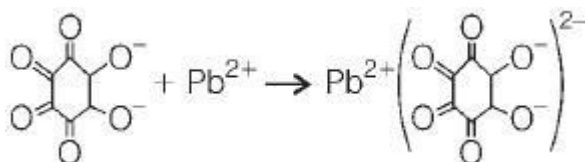
Verifica-se através da Figura 18, a reação química envolvida no processo que consiste na complexação de íons chumbo pelos íons rodizonato, o complexo resultante apresenta coloração avermelhada intensa, diferentemente da solução inicial de rodizonato de sódio, a qual apresenta-se amarelada, nas concentrações utilizadas nos laboratórios forenses.

Figura 17 - Coleta de metais em mãos de atiradores



Fonte: Oliveira, 2006

Figura 18 - Rodizonato de chumbo



Fonte: Oliveira, 2006)

Nos últimos anos diversas técnicas instrumentais foram otimizadas para detecção de resíduos de disparo de armas de fogo. Na década de 60, uma das mais utilizadas foi a Análise por Ativação com Nêutrons (NAA), apesar de sua sensibilidade não conseguia identificar o elemento chumbo. Já na década de 70, a Espectrofotometria de Absorção Atômica (AAS) entrou em ação com o diferencial da detecção do elemento chumbo (MENG, 1997).

Concomitantemente ao uso da AAS, surgiu a utilização do microscópio eletrônico de varredura (MEV ou SEM), utilizado rotineiramente pelos laboratórios forenses ao redor do mundo (SINGER, 1996). Com o surgimento da técnica de espectrometria de emissão com fonte de plasma (ICP-AES) houve um incremento na sensibilidade das análises, possibilitando a detecção multi-elementar dos resíduos de tiro (KOONS, 1998). Com a utilização da espectrometria de massas com fonte de plasma indutivamente acoplado (ICP-MS), foi notório o aumento da sensibilidade na detecção multi-elementar qualitativa e quantitativa de forma rápida e eficaz (CARRERAS, 1998).

Atualmente, uma das técnicas mais adotadas como padrão de análises de resíduos de disparos de arma de fogo (*GSR*) é a análise por microscopia eletrônica de varredura (MEV) acoplada com a espectroscopia de energia dispersiva (SEM/EDS). Sua principal vantagem é a identificação de características morfológicas e composições elementares de cada partícula individualmente (PINTO, 2008; FERREIRA et al., 2021). As partículas identificadas devem estar dentro das condições indicadas pelo método ASTM - *American Society for Testing and Materials*, órgão estadunidense de normatização, desenvolve e publica normas técnicas para uma ampla gama de materiais, produtos, sistemas e serviços (ASTM, 2008).

3.1 Cartuchos das armas de fogo

Cartucho é a designação genérica das unidades de munição utilizadas nas armas de fogo de recarga. Segundo o Decreto nº 3.665, de 20/11/2000, pode-se entender munição como: “artefato completo, pronto para carregamento e disparo de uma arma, cujo efeito desejado pode ser: destruição, iluminação ou ocultamento do alvo; efeito moral sobre pessoal; exercício; manejo; outros efeitos especiais” (art. 3º, inciso LXIV, anexo).

3.1.1 Modelos de cartucho

Como existem diversos modelos de armas de recarga, logicamente existem diversos modelos de cartuchos, que variam no formato, na quantidade e no tipo de seus componentes. Os cartuchos mais conhecidos e empregados hoje em dia são:

- Cartuchos para armas raiadas de percussão central;
- Cartuchos para armas raiadas de percussão radial;
- Cartuchos para armas de alma lisa de percussão central.

3.1.2 Componentes do cartucho e suas funções

Em quase todas as espécies de cartuchos, verifica-se a utilização de alguns componentes essenciais, como o estojo, a espoleta, o propelente (pólvora) e o projétil, mostrados detalhadamente na Figura 19.

Figura 19 - Componentes de um cartucho (SENASP, 2012)



Fonte: SENASP, 2012

3.1.2.1 Estojo

O estojo é o componente que integra os demais elementos do cartucho. Apesar de algumas armas de fogo praticamente obsoletas (armas de antecarga) dispensarem o seu uso, trata-se de um componente indispensável às armas modernas. O estojo possibilita que todos os componentes necessários ao disparo fiquem unidos em uma peça, facilitando o manejo da arma e acelerando o intervalo em cada disparo. Além disso, permite a padronização dos cartuchos e determina as dimensões das câmaras onde esses cartuchos são empregados (NETO, 2005).

Atualmente, a maioria dos estojos é construída em metais não ferrosos, como os produzidos em alumínio — produzidos pela empresa mexicana CCI e os confeccionados em latão (liga de Cu e Zn) — dada a facilidade de ser trabalhado, de se expandir, por não permitir o escape de gases pelas paredes da câmara e de recuperar em parte a forma original após cessar a pressão, facilitando a extração e a recarga de munição (NETO, 2005).

3.1.2.2 Tipo de iniciação

De acordo com o Professor Eraldo Rabello (1995) pode-se descrever o estojo quanto ao tipo de iniciação, sendo classificado como:

- **Fogo circular** – A mistura detonante é colocada no interior do estojo, dentro do aro, e detona quando este é amassado pelo cursor;
- **Fogo central** – A mistura detonante está disposta em uma espoleta, fixada no centro da base do estojo.

3.1.2.3 Espoletas

As espoletas têm por função iniciar a queima da pólvora (propelente). Trata-se basicamente de um explosivo e outros componentes depositados no fundo de um pequeno receptáculo metálico de latão, cuja iniciação se dá por percussão (choque violento), o qual gera a detonação desse explosivo. Na detonação, ocorre a transformação abrupta do explosivo em gases, com extraordinária rapidez (velocidade da ordem de 5000 m/s), com geração de calor, chama e elevadas pressões, o que irá agir sobre os grãos do propelente causando agitação aquecimento e ignição (RABELLO, 1995).

3.1.2.4 Mistura iniciadora

A mistura iniciadora de uma espoleta para cartucho é composta de materiais diversos, com as funções específicas tais como: um explosivo iniciador, materiais oxidantes, redutores, atritantes e aglomerantes.

Diversas composições desses materiais são utilizadas por diferentes fabricantes. A composição mais comum, desde o início da década de 70 utilizada pela Companhia Brasileira de Cartuchos, tem por base o estifinato de chumbo, cuja composição é formada pelos seguintes constituintes: trinitroressorcinato de chumbo, tetrazeno, alumínio em pó, trissulfeto de antimônio e nitrato de bário (MARTINY, 2005).

Essa mistura constitui-se em uma mistura estável à umidade e temperatura. Durante o disparo, a ignição da mistura iniciadora produz 40% em peso de gases e 60% em peso de partículas sólidas quentes, liberando CO, CO₂, NO, NO₂, N₂, SO₂, vapor de água, óxido de chumbo e de bário, vapores de chumbo metálicos, entre outros. A composição química da mistura iniciadora à base de estifinato de chumbo produz aproximadamente 300 cm³ de gás por grama de mistura (MARTINY, 2005).

3.1.2.5 Propelentes (pólvora)

Propelentes são substâncias que queimam de forma progressiva. Pela característica de queimar progressivamente, as pólvoras são chamadas de propelentes. As pólvoras são misturas ou compostos químicos que, quando queimam numa velocidade na ordem de 400 m/s, gerando uma significativa quantidade de gases (MARTINY, 2005). Obviamente, os gases resultantes dessa queima, pela característica da expansividade (inerente aos gases), ocupam um volume muito maior que o dos sólidos que o geraram, acarretando um considerável aumento de pressão na área interna do cartucho. Como a pólvora está acondicionada dentro de um cartucho, esse aumento de pressão acarreta a explosão.

A queima da pólvora não é instantânea, apesar de ocorrer em altas velocidades, o tempo necessário para a sua queima permite um aumento de pressão de forma gradual, que é um dos principais critérios para definir em que tipo de arma será empregada determinada pólvora (quanto menor o comprimento do cano, mais veloz deve ser a sua queima).

A pressão é exercida em todas as direções (princípio de Pascal) e, à medida que a pressão aumenta, ela suplanta a força de engastamento do projétil ao estojo, o que propicia o deslocamento do projétil através do cano. Com o aumento gradual do volume de confinamento do propelente em combustão, a pressão gerada diminui e mantém-se dentro dos limites para os quais a arma foi projetada (a pressão é inversamente proporcional ao volume) (MARTINY, 2005).

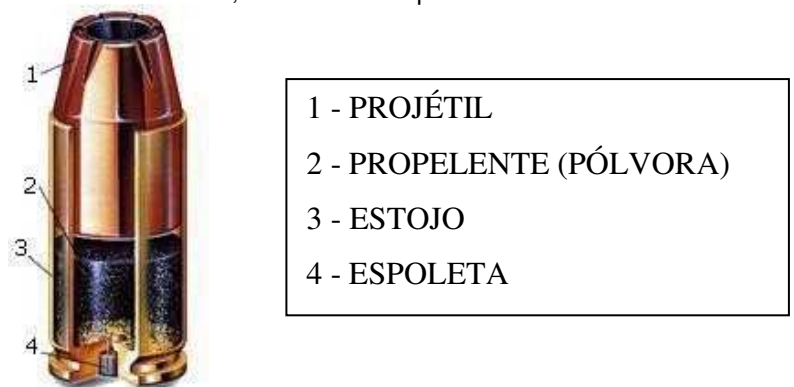
O projétil é acelerado durante todo o seu percurso pelo cano por causa da pressão exercida pela expansividade dos gases resultantes da queima do propelente. A pressão atinge um valor máximo, chamado de pico de pressão, a partir do qual começa a decair até a pressão atmosférica local, após a saída do projétil pelo cano.

Como dito, as armas de fogo só foram possíveis graças à invenção da pólvora; por sua vez, somente chegou-se ao nível atual de avanço tecnológico com a invenção do cartucho metálico. Unidade de munição das modernas armas de fogo, possibilita seu emprego tático onde se deseja grande número de disparos no menor espaço de tempo (NETO, 2005). Sem ele, seria impossível existirem novos sistemas de operação, assim como não haveria as armas semiautomáticas e as automáticas.

O cartucho metálico reúne, em si só, todos os elementos necessários ao tiro. Foi elaborado de modo a ser introduzido diretamente na culatra da arma para a qual é destinado, de modo manual ou mecânico.

Quando uma arma de fogo é disparada, são produzidas partículas provenientes de resíduos da espoleta, do propelente, de metais dos projéteis e da própria arma. A Figura 19 mostra um corte esquemático de um cartucho / munição com seus componentes, projétil, propelente, estojo e espoleta (que contém o primer ou mistura iniciadora), constituídos de diferentes materiais, que contém, especialmente os elementos chumbo, antimônio e bário.

Figura 20 - Corte esquemático de um cartucho, com seus componentes.



3.1.2.6 Projétil

O projétil é o artefato, metálico ou não, que é expelido pela arma de fogo; é o principal e mais crítico elemento da munição. Seu tipo, forma e massa, vão determinar, juntamente com a pólvora, os maiores ou menores efeitos balísticos ou lesivos da munição (ZEICHNER, 1991).

Inicialmente concebidos no formato esférico, de diversos materiais, deram lugar aos projéteis ogivais, de melhor perfil aerodinâmico, podendo ser de chumbo ou encamisados com outros metais ou liga metálicas (dotados de uma jaquetametálica externa, ver Figura 21). No ato do disparo, o detonador (cão da arma) golpeia a espoleta e o calor da combustão derrete o *primer ou mistura iniciadora* que contém estifinato de chumbo, nitrato de bário, trissulfeto de antimônio, tetrazeno e alumínio atomizado (ZEICHNER, 1991).

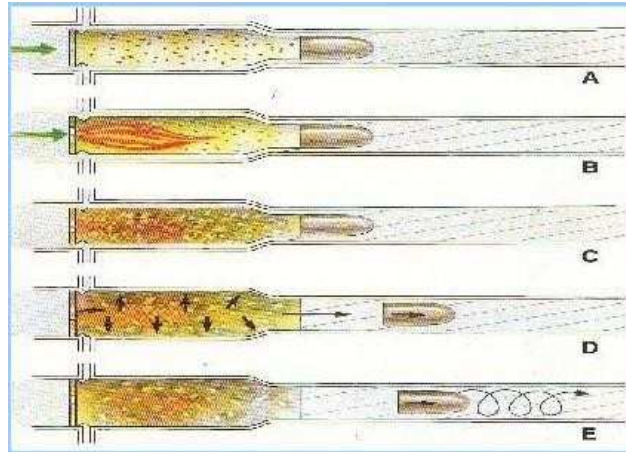
Figura 21 - Projétil semi-jaquetado de ponta oca ou hallow point



Fonte: CHEMELLO, 2007.

A combustão ocorre em função de uma deformação da cápsula de espoletamento que quebra os cristais de estifinato de chumbo e tetrazeno. Inicia-se assim uma chama cujo combustível é o nitrato de bário e oxidante o trissulfeto de antimônio. São gerados gases de alta temperatura e pressão, cuja energia térmica desenvolvida é suficiente para iniciar a queima da pólvora ou propelente. A queima da pólvora provoca uma grande pressão que ejeta o projétil para fora do cano da arma, a Figura 22 detalha o mecanismo do disparo.

Figura 22 - Esquema das reações produzidas em um disparo



Fonte: FREITAS, 2010

3.1.2.7 Propriedades físico-químicas dos principais elementos da munição

Chumbo (Pb) - é um metal pesado com densidade relativa de 11,4 a 16 C, se funde a uma temperatura de 327,4 °C e possui ponto de vaporização de 1725 °C. Sua Massa Molar é de 207,19. Possui módulo de elasticidade de 14 Gpa (<http://www.infoescola.com/elementos-quimicos/bario> em 05 de agosto de 2020).

Bário (Ba) - O bário recebeu seu nome da palavra grega “barys”, que significa “pesado” e foi descoberto em 1774 por Carl Scheele em meio à pedra de Bolonha (baritina). O nome bário lhe foi atribuído em razão de sua alta densidade. Com um Ponto de fusão de 727 °C e de ebulição de 1870 °C, os sais formados por este elemento são em sua maior parte insolúveis e tóxicos, por exemplo, o cloreto de bário. Tem módulo de elasticidade 13 GPa (<http://www.infoescola.com/elementos-quimicos/bario> em 05 de agosto de 2020).

Antimônio (Sb) - O antimônio na sua forma elementar é um sólido cristalino, fundível, quebradiço, branco prateado que apresenta uma condutividade elétrica e térmica baixa, e evapora em baixas temperaturas. É um semi-metálico (metalóide) se parece aos metais no aspecto e nas propriedades físicas, mas quimicamente não se comporta como eles. As estimativas sobre a abundância de antimônio na crosta terrestre vão desde 0,2 a 0,5 ppm. Possui uma densidade de 6,697 (g/cm³), ponto de fusão de 630 °C, com 1586 °C de ponto ebulição. (<http://www.infoescola.com/elementos-quimicos/bario> em 05 de agosto de 2020).

Mercúrio (Hg) - O mercúrio está presente em diversas formas (Hg metálico, orgânico, inorgânico) e pode encontrar-se em três estados de oxidação (0, +1, +2), em geral facilmente interconvertíveis na natureza. Para o Estudo de Balística o

composto Fulminato de mercúrio ($\text{Hg}(\text{CNO})_2$) usado como detonante, é altamente corrosivo e venenoso (<http://www.infoescola.com/elementos-quimicos/bario> em 05 de agosto de 2020).

3.2 Análise física das armas de fogo

3.2.1 Comprimento de cano

Existe uma percepção muito comum, especialmente entre os não-atiradores, de que arma de cano longo é sinônimo de arma mais precisa e de tiro com maior potência. Tanto que é comum ouvir a afirmação de que “não se acerta nada com arma de cano curto” ou que “arma de cano curto rouba potência do tiro”, ou coisas parecidas. Será que o comprimento do cano faz — realmente — tanta diferença assim?

A discussão sobre precisão sempre é composta de duas partes: 1) a viagem do projétil pelo cano (balística interna) e 2) a viagem do projétil pela atmosfera, até o alvo (balística externa). Falar apenas do cano é falar de apenas um dos componentes de metade da discussão. O senso comum diz que armas de cano longo são sempre mais precisas que armas de cano curto. Isto não é verdade. Essa percepção, “comprovada” por muitos, decorre de dois fatores muito simples, mas que conduzem a uma conclusão errada sobre o tema (FERREYRO, 2007):

1. O cano mais longo proporciona um plano de mira (distância entre a alça e a massa de mira) maior e, portanto, menos sujeito a desalinhos com o alvo.
2. O peso maior do cano longo confere à arma maior resistência a movimentos do atirador, o que promove menos desalinhamento com o alvo.

Especificamente sobre o comprimento do cano, a verdade é que – dados canos de uma mesma espessura – o cano mais curto tem melhor potencial de precisão do que o cano mais longo. Ainda que contra a opinião popular, essa afirmação é verdadeira e a explicação é relativamente simples: rigidez. O cano mais curto é mais rígido que o cano mais longo.

Ainda que não seja visível, todo e qualquer cano vibra durante o tiro. Essa vibração harmônica faz com que o cano se comporte como uma corda que é presa por uma ponta e agitada. Nos canos curtos a amplitude dessa vibração é menor que

nos canos longos. Como essa vibração altera a posição da boca do cano em relação ao alvo, fica clara a vantagem de ter um cano mais rígido quando o assunto é precisão. No cano curto, afinal, o projétil deixa o cano em posição mais próxima do alinhamento correto com o alvo.

3.2.2 Potência

Entendida como a energia do projétil disparado da arma, a potência é função de duas grandezas: a massa do projétil e sua velocidade. Sendo a energia cinética produto da massa pela velocidade elevada ao quadrado, dividido por 2, significando que a energia aumenta numa proporção quadrada do aumento da velocidade, explicação clássica que pode ser verificada nos livros de física moderna. Portanto, dadas as armas e a munição escolhidas, aquela arma na qual a munição desenvolver maior velocidade será a que terá maior potência.

3.2.3 Velocidade

A percepção de que, dada uma mesma munição, um cano longo sempre vai gerar mais velocidade é falsa. É o que ocorre em boa parte dos casos, mas a premissa é falsa. Para entender o porquê disso, é necessário — primeiro — compreender como o projétil é acelerado e expulso do cano, assunto estudado no ramo da balística intitulada de Balística Interna (FERREYRO, 2007).

Ao ser atingida pelo percussor da arma, a espoleta inicia o processo com uma explosão (por sinal a única explosão que ocorre em todo o ciclo), que lança partículas incandescentes e gás em alta temperatura contra a carga de pólvora. A pólvora sem-fumaça usada nos tempos atuais é um propelente, sólido que, incendiado, se converte rapidamente em gás (FERREYRO, 2007). É esse gás que vai impulsionar o projétil pelo cano e em direção ao alvo.

Uma vez iniciada a queima da pólvora ocorre uma rápida e intensa geração de gás. O gás, como qualquer outra matéria, ocupa espaço. Como a queima da pólvora é progressiva (não ocorre de uma só vez), o volume do gás gerado por essa queima aumenta instantaneamente, excedendo em muitas vezes o volume interno do estojo onde a pólvora está contida. Essa expansão violenta empurra o estojo contra o ferrolho, contra as paredes da câmara de disparo e contra a base do projétil.

Como a câmara de disparo e o ferrolho (ou a parede da armação) não cedem a essa pressão, toda a expansão se dirige para o único lado, a boca do cano da arma. Assim tem início a aceleração do projétil cano afora. O projétil começa a se mover, impulsionado pela expansão dos gases da queima da pólvora, aumentando significativamente o volume interno do sistema. Como a quantidade de pólvora no cartucho é finita, a quantidade de gases e sua expansão também o são. Aí é que entra análise sobre o comprimento do cano.

Se o cano for longo o suficiente para que a pólvora seja completamente queimada e, no exato ponto em que ela se exaurir o projétil sair do cano, terá uma situação em que se obteve a maior velocidade fisicamente possível de ser atingida por aquele cartucho. No entanto, se o cano tiver comprimento muito além desse ponto, ocorrerá uma desaceleração do projétil, pois a energia que o impulsiona pelo cano terá cessado e o seu atrito com o cano se encarregará da perda de velocidade.

Outro fator do cano ser curto, é que neste o projétil sairá do cano antes (às vezes muito antes) da queima da pólvora ter atingido um nível razoável. Um sinal claro disso é a labareda (fogo) na boca do cano da arma. Labareda grande significa que o projétil saiu do cano com a pólvora ainda queimando, o que quer dizer que uma parte da energia da queima da pólvora foi desperdiçada. Fica claro que o projétil, neste caso, atinge velocidade abaixo do nível esperado.

O problema é que não existe apenas um único tipo de munição para um dado calibre. Desta forma, os fabricantes de armas têm que fazer uma opção difícil ao determinar quais comprimentos de cano serão ofertados. A lógica dessa decisão não vem ao caso no momento, mas o fato é que os comprimentos de cano são — sempre — mais adequados ou menos adequados para um ou outro tipo de munição.

É raro o caso de um comprimento de cano que consiga extrair o máximo desempenho de um dado cartucho. Assim, dentro dos limites expostos, um cano longo extrai mais velocidade de uma dada carga. O problema é saber o quão longo cano tem que ser. A relação entre comprimento de cano e velocidade existe, mas está muito longe de ser tão simples quanto muitos supõem (ESPINDULA, 2011).

No caso das armas escolhidas, o cano de 6" do revólver produz boa velocidade. Algo entre 800 e 900 pés/segundo com a carga escolhida. O cano de 20" da carabina produz velocidade maior, entre 1000 e 1100 pés/segundo.

3.3 Dinâmica dos disparos com armas de fogo

Após ser realizado um disparo, em fração de milissegundos a temperatura do *primer* excede o ponto de vaporização do chumbo e do bário, os vapores formados por esses elementos se condensam na superfície liquefeita do *primer* formando gotículas. Estes vapores também são projetados pelo espaço (Figura 23), condensando-se simultânea e uniformemente, formando os resíduos do tiro (GSR) com diâmetro na ordem de micrômetros.

Figura 23 - Visão lateral de um disparo efetuado com uma pistola Taurus calibre .40



Fonte: <http://combatetatico.blogspot.com.br/2011/06/tecnicas-de-desarme-contra-armas-de.html>)

A Figura 24 mostra a variação de temperatura e pressão, esperada no momento da explosão (formação do GSR). Nessas partículas (também denominadas esferóides devido ao formato característico), embora os resíduos possam apresentar certa heterogeneidade superficial em razão da presença de elementos não específicos, a homogeneidade das quantidades de chumbo, antimônio e bário presentes em seu interior pode ser um importante critério para a identificação de resíduos de disparos (WOLTEN, 1980).

Durante um disparo, os resíduos expelidos provenientes da combustão são transportados junto com o projétil de forma que a sua natureza, bem como a sua quantidade e distribuição que atinge o alvo está intimamente relacionada à distância do disparo. Uma representação mais clara dos resíduos encontrados mostrada na Figura 24, foi feita a partir da filmagem em uma posição perpendicular à linha de disparo de um revólver.

Figura 24- Nuvem de fumaça



Fonte: FREITAS, 2010.

Como se pode observar, os resíduos do tiro (GSR) tornam-se progressivamente dispersos, espalhando-se por causa da expansão da nuvem de gás, contando com partículas provenientes do cano da arma de disparo que contaminam a cena do crime. Sendo a presença dos resíduos dos disparos, cuja composição básica (chumbo, antimônio e bário) serem indícios da ocorrência de um disparo, uma análise adicional tem sido proposta para uma identificação mais satisfatória, quando no estabelecimento de um vínculo entre um atirador e a arma (MARTINY, 2005).

Elementos como cálcio, estanho, cobre, zinco, silício, enxofre, carbono, alumínio e ferro, considerados não específicos e provenientes de fragmento do projétil, da arma e do cartucho, podem auxiliar nesta identificação. O emprego de um método instrumental adequado que analise todos os elementos presentes pode e deve ter uma aplicação decisiva nesta identificação.

3.4 Métodos analíticos utilizados para determinação de GSR

No artigo intitulado *Use of luminescent gunshot residues markers in forensic*, publicado na revista *Forensic Science International* no mesmo ano, os autores asseguram que a avaliação química de resíduos de bala (GSR) produzidos por munições não-tóxicas (NTA) tem sido um desafio à análises forenses (WEBER, 2014). Estudos vêm sendo desenvolvidos, detectando alguns marcadores luminescentes específicos. Além de verificar resíduos no próprio cartucho ejetado, há possibilidade de recolher resíduos de pólvora em locais não convencionais como, por exemplo, nas narinas dos atiradores, nas mãos, em objetos manipulados pelo próprio, e principalmente na cena do crime e sobre vítimas.

Regina Verena Taudte incrementa as pesquisas na área forense quando afirma em seu artigo “*The development and comparison of collection techniques for inorganic and organic gunshot residues*”, publicada nos anais da revista *Anal Bioanal Chem*, que a detecção e interpretação de resíduos de bala (GSR) desempenham um papel importante na investigação de eventos por armas de fogo. Comumente, a análise centra-se na investigação de partículas inorgânicas que incorporam elementos derivados do “*primer*” ou carga iniciadora. No entanto, as mudanças recentes em formulações munições e possibilidade de que as partículas a partir de fontes diversas das ejetadas pelo uso da arma de fogo pode ser indistinguível das certas partículas do primer, vindo com isso, desafiar o protocolo operacional padrão de análises de partículas GSR inorgânicas e orgânicas (TAUDTE, 2018).

Protocolos padrões de detecção de GSR cada vez se reporta a Metodologias Instrumentais de Análises, como cromatografia líquida de ultra-desempenho (UHPLC) acoplado com detecção por UV e espectrometria de massa. A análise por microscopia eletrônica de varredura acoplada com a energia espectroscopia de raios-X dispersiva (SEM-EDX) vem sendo largamente utilizada com o uso de cotonetes (swabs) quando se quer analisar GSR nas mãos de suspeitos atiradores (REIS, 2004; MARTINY, 2005; FERREIRA et al., 2021)

3.4.1 Testes Colorimétricos

Um dos mais antigos métodos utilizados para detecção de resíduos de disparos foi o teste com difenilamina para nitratos (presentes na pólvora parcialmente queimada), introduzido na década de trinta. Em razão de um grande número de materiais também conterem nitratos, este teste foi caindo em desuso. A partir dessa constatação, os esforços se concentraram na direção de testes para materiais menos comuns, como alguns componentes do cartucho/munição: bário, antimônio e chumbo. Inicialmente, testes colorimétricos químicos foram propostos para identificação desses elementos, porém logo foram abandonados em razão da falta de sensibilidade para detecção dos baixos teores de resíduos encontrados, na faixa de microgramas (MARTINY, 2005 e FREITAS, 2010).

Desta forma, como esses testes químicos geralmente falhavam analiticamente, passou-se a considerar o emprego de métodos instrumentais, com uma maior sensibilidade. Assim, na década de sessenta, das várias técnicas instrumentais, então disponíveis, a Análise por Ativação de Nêutrons (NAA) foi considerada a mais adequada por ter sensibilidade na determinação de bário e antimônio na faixa de partes por milhão (MARTINY, 2005).

3.4.2 Análise por Ativação com Nêutrons

A Análise por Ativação com Nêutrons envolve a produção de radioisótopos em uma amostra através da exposição a um alto fluxo de nêutrons em um reator nuclear. Os isótopos radioativos apresentam então um decaimento, geralmente por emissão de radiação gama, com energias características de cada elemento. A medida da radiação possibilita tanto uma análise quantitativa, quanto qualitativa dos elementos na amostra. A técnica por NAA é especialmente adequada para se obter um perfil dos elementos em baixas concentrações (traços), presentes na amostra original, bem como separa-los de interferentes (ZEICHNER, 2003).

Contudo o uso do NAA se tornou restrito a poucos lugares em razão da necessidade do uso de um reator nuclear, o que torna o custo da análise muito alto. A necessidade de se trabalhar com materiais radioativos, de um corpo de profissionais especializados, aliado ao alto custo do equipamento restringiu o seu uso para poucos lugares.

3.4.3 Espectrometria de Absorção Atômica

O rápido desenvolvimento da técnica de Espectrometria de Absorção Atômica (AAS) no meio da década de setenta, levou a aplicação da técnica para determinação de resíduos de disparos. A sensibilidade para bário e antimônio era equivalente à encontrada por NAA, sendo que a nova técnica oferecia um número de outras vantagens (ZEICHNER, 2003):

- O equipamento era relativamente barato comparado com o requerido para análise por NAA;
- O tempo de análise era apenas de poucas horas.

Assim métodos analíticos por AAS substituíram os métodos por NAA para análise rotineira de resíduos de disparos. No entanto, uma das principais restrições para a determinação de metais em resíduos de disparos por essa técnica (e por NAA) era que apenas a quantidade total dos elementos era determinada. Não existia indicação alguma da forma destes elementos, isto é, se eles estavam presentes como metais ou em uma forma combinada (PINTO, 2008). Em muitos casos, dependendo do tipo de amostra analisada, os resíduos de metais encontrados poderiam não ser consistentes àqueles característicos como provenientes de um disparo. Informações adicionais eram necessárias para atestar-se de que os resíduos encontrados eram definitivamente àqueles do disparo. Como resultado, novos métodos instrumentais foram considerados.

3.4.4 Fluorescência de Raios-X (XRF)

A fluorescência de raios-X, entre essas novas técnicas analíticas instrumentais, tem se destacado, principalmente pela rapidez nas determinações de maiores, menores e micro constituintes em materiais diversos, que frequentemente requerem rápidas identificações ou mesmo quantificações em análises de caráter exploratório na área da química e metalurgia entre outras (ZEICHNER, 2003). Dentro da técnica de fluorescência de raios X, pode-se destacar as seguintes vantagens:

- A análise de amostras sólidas, pulverizadas, líquidas;
- Caráter não destrutivo, com isso a amostra pode ser preservada para ser utilizada como contraprova futura;
- Determinação qualitativa e quantitativa;
- Análise de amostras particuladas de aproximadamente 50 µm.

Os sistemas utilizados para análise são a fluorescência de raios-X por dispersão por comprimento de onda (WDXRF), por dispersão de energia (EDXRF) e por reflexão total (TRXF). O último sistema possibilita análise de elementos traços na faixa de ppb (partes por bilhão), muito bem ilustrados na Figura 25.

Figura 25 - Equipamento de WDXRF do CQMA/IPEN utilizado para detecção de GSR



Fonte: FREITAS, 2010

3.4.5 Microscopia Eletrônica de Varredura acoplada à espectrometria de dispersão de energia (SEM/EDS)

Trata-se de um microscópio que utiliza um feixe de elétrons, que varre a amostra em um padrão de rastreamento obtido após a reflexão, por uma câmera de vídeo. A imagem é então manipulada eletronicamente e o resultado visualizado em um monitor de alta definição. Com altíssima resolução e com uma profundidade de campo cerca de 200 vezes maior que um microscópio óptico, aumentos superiores a 10^6 vezes são possíveis. Tem a desvantagem de elevado tempo requerido na análise do resíduo, porém, esta técnica permite que o examinador utilize o MEV em várias superfícies e elementos de prova sem uma preparação elaborada da amostra. (MARTINY, 2008).

Um dos métodos científicos utilizados para a detecção e identificação dos resíduos de disparo com armas de fogo é o realizado no Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) acoplado a técnica de espectroscopia de energia dispersiva com microanálise por fluorescência de raios-X, (SEM - *Scanning Electron Microscope* e EDS — *Energy Dispersive Spectroscopy*).

O microscópio eletrônico de varredura (MEV) é um equipamento capaz de produzir imagens de alta ampliação (até 300.000 x) e resolução. As imagens fornecidas pelo MEV possuem um caráter virtual, pois o que é visualizado no monitor do aparelho é a transcodificação da energia emitida pelos elétrons, ao contrário da radiação de luz a qual estamos habitualmente acostumados (PINTO, 2008).

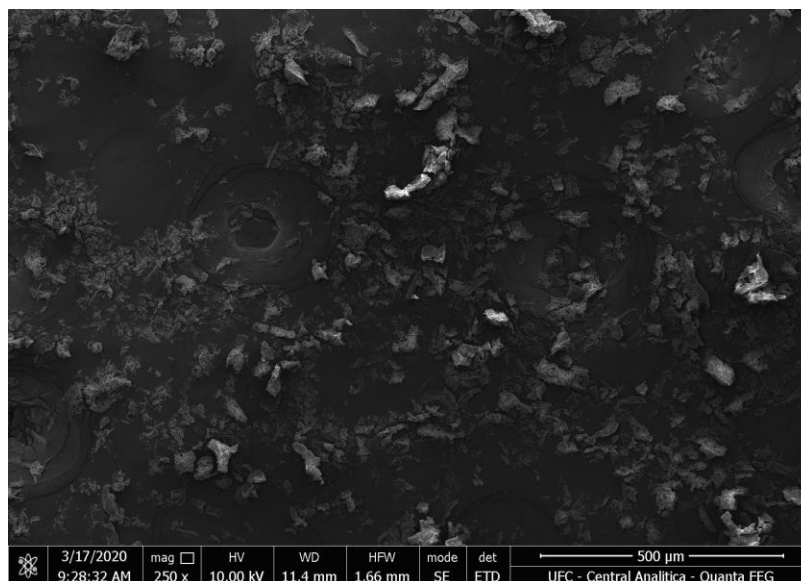
O princípio de funcionamento do MEV consiste na emissão de feixes de elétrons por um filamento capilar de tungstênio (eletrodo negativo), mediante a aplicação de uma diferença de potencial que pode variar de 0,5 a 30 KV. Essa variação de voltagem permite a variação da aceleração dos elétrons, e também provoca o aquecimento do filamento (PINTO, 2008). A parte positiva em relação ao filamento do microscópio (eletrodo positivo) atrai fortemente os elétrons gerados, resultando numa aceleração em direção ao eletrodo positivo. A correção do percurso dos feixes é realizada pelas lentes condensadoras que alinham os feixes em direção à abertura da objetiva. A objetiva ajusta o foco dos feixes de elétrons antes dos elétrons atingirem a amostra analisada (PINTO, 2008).

O análise *Energy Dispersive X-ray detector* (EDX ou EDS, mais conhecida com EDS) é um acessório essencial no estudo de caracterização microscópica de materiais. Quando o feixe de elétrons incide sobre um mineral, os elétrons mais externos dos átomos e os íons constituintes são excitados, mudando de níveis energéticos. Ao retornarem para sua posição inicial, liberam a energia adquirida a qual é emitida em comprimento de onda no espectro de raios-x. Um detector instalado na câmara de vácuo do MEV, ver Figura 26, mede a energia associada a esse elétron. Como os elétrons de um determinado átomo possuem energias distintas, é possível, no ponto de incidência do feixe, determinar quais os elementos químicos estão presentes naquele local e assim identificar em instantes que mineral está sendo observado, conforme Figura 27 (DPUNION, 2021).

Figura 26 - Microscópio Eletrônico de Varredura - (Central Analítica da UFC -2020)



Figura 27 - Imagem de elétrons secundários de um resíduo de arma de fogo (Central Analítica da UFC - 2020)



3.4.6 Espectrometria de massas com fonte de plasma indutivamente acoplado

A técnica de Espectrometria de massas com fonte de plasma indutivamente acoplado (ICP-MS) tem como principal vantagem a possibilidade de análise multielementar (e isotópica) seqüencial rápida, aliada à alta sensibilidade. Utiliza como fonte de ionização um plasma de argônio de energia alta (até 1,5 kW), e como detector, um espectrômetro de massa de alta ou baixa resolução (setores magnético e elétrico, ou quadrupolo). Cerca de 90% dos elementos da Tabela periódica podem ser determinados, com limites de detecção na ordem de 0,001 a 0,1 µg L⁻¹ (PUC, 2013).

O ICP-MS tem sido utilizado como uma técnica analítica poderosa para a detecção de uma ampla faixa de elementos em níveis de concentração que varia de altos teores até traços e ultra-traços (0,1 a 0,01 partes por bilhão). Além da alta sensibilidade, é reconhecido pela sua capacidade multi-elementar, pelas medidas de isótopos e análises por diluição isotópica para amostras em que se requeira alta precisão e exatidão (PUC, 2013).

O princípio fundamental desta técnica baseia-se numa descarga de plasma a alta temperatura a qual gera íons. As amostras líquidas são introduzidas, através de um sistema composto por uma câmara de nebulização e de um nebulizador, num plasma de radiofrequência sendo o seu arrastamento efetuado por um fluxo de Argônio. A amostra é bombeada a 1 ml/min por aspiração direta ou através de uma

bomba peristáltica, cuja função é assegurar um fluxo constante do líquido e eliminar diferenças de viscosidade entre amostras, padrões e brancos. Esta emerge na base do plasma sob a forma de um aerossol e à medida que percorre as diferentes zonas de aquecimento é vaporizada, atomizada e ionizada (PUC, 2013).

Quando atinge a zona analítica do plasma (aproximadamente a 6000-7000K e 1 atm) apresenta-se já na forma de átomos e de íons excitados, representando a sua composição elementar. Os íons são extraídos do plasma para uma zona em vácuo através de uma interface cujo objetivo é facilitar o transporte eficaz dos íons, de modo a que mantenham a sua integridade elétrica, desde o plasma até ao analisador de massa. Depois dos íons serem gerados no plasma, passam através do primeiro cone para a região entre os dois cones, que se encontra a uma pressão inferior (PUC, 2013).

O feixe de íons é posteriormente extraído através do orifício do segundo cone até à secção frontal do espectrómetro de massa. O sistema consiste em uma ou mais lentes iônicas que promovem o transporte dos íons do analito desde a região de interface até à zona de separação de massa, rejeitando o máximo possível componentes de matriz e espécies não analitos. Este sistema tem também como função impedir a passagem de partículas, espécies neutras e fótons para o analisador de massa e conseqüentemente para o detector. O sistema de detecção do espectrómetro de massa efetua a contagem do número de íons que emergem do analisador de massa. O detector converte os íons em impulsos elétricos, os quais são contados pelo seu circuito de medição integrada. A intensidade do sinal pode ser medida no detector em dois modos diferentes: o modo analógico e o modo de contagem por impulsos (NETO, 2005).

O uso do ICP-MS permite a determinação em níveis de traços e ultra-traços, os quais podem ser associados à arma, a um componente da munição, ou elementos que podem estar presentes de forma específica em munições e projéteis como estrôncio, cobre, níquel e zinco (NETO, 2005).

De modo a oferecer, portanto, uma rapidez e sensibilidade necessária para uma análise exata e precisa de todos os elementos utilizados na detecção de GSR. Na Tabela 4 é apresentada uma comparação entre as principais técnicas analíticas disponíveis e utilizadas pelo Instituto de criminalística de São Paulo na detecção de GSR.

Tabela 4 - Métodos analíticos utilizados para análise de resíduos de disparo.

MÉTODO	TIPO DE ENSAIO	VANTAGENS	DESVANTAGENS
Rodizonato de Sódio	Colorimétrico	Detecta Pb e Ba	- Não é quantitativo - Alto índice de falso Positivo - Não detecta Sb
Análise por ativação com Nêutrons	Instrumental	- Ensaio não destrutivo - Sensibilidade	- Alto custo de análise (Reator nuclear) - Não detecta Pb
Espectrometria de Absorção Atômica	Instrumental	- Equipamento de menor custo - Menor tempo de Análise	- Sem a garantia da origem e forma dos Resíduos - Menor Sensibilidade
Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) acoplada com análise de raios-X	Instrumental	- Observação da morfologia das partículas - Fotografia das partículas - Ensaio não destrutivo	- Elevado tempo requerido para Análise
ICP-MS	Instrumental	- Análise de baixos teores (0,1- 0,01 ppb) - Análise isotópica de elementos, eliminando falso positivo	- Preparação das Amostras - Ensaio destrutivo
XRF	Instrumental	- Limite de detecção da ordem de 1 a 50 ppm para amostras sólidas - Ensaio não destrutivo	- Não determina a valência do elemento químico analisado

Fonte: ROMOLO, 2001

A quantidade de resíduos depende de diversos fatores tais como: a distância entre a arma e o alvo, o estado de conservação da arma, o tipo e o estado de conservação do alvo, a presença de resíduos provenientes de outras fontes sobre o alvo, as condições do ambiente, o ângulo de penetração do projétil. Entretanto a relação entre Pb-Ba-Sb é relativamente constante uma vez que o fenômeno físico é o mesmo. A razão do estabelecimento destas proporções ainda não está claramente compreendida, e trabalha-se com a hipótese de estar relacionado com a energia dos disparos.

4 METODOLOGIA

4.1 Considerações Iniciais

A Parte experimental desta pesquisa foi realizada em estandes credenciados de tiro situados nas cidades de Fortaleza e Itaitinga, no Estado do Ceará, onde foram instalados os equipamentos de medição e coleta de resíduos de tiro (GSR - *Gunshot residues*) em pontos estratégicos entre os postos de tiro.

As coletas dos gases residuais gerados pelos disparos com armas de fogo foram feitas durante o funcionamento das baterias de tiros efetuados por agentes de segurança em treinamentos. É pertinente citar, que esses profissionais, alunos do curso de formação para ingresso na carreira policial, foram previamente orientados quanto à segurança com o equipamento e sobre a importância científica desta investigação para o universo da segurança pública e das ciências forenses. Foi de suma importância todo apoio disponibilizado pelos instrutores do treinamento em comenta, trata-se de *experts* profissionais gabaritados da Segurança Pública do Estado do Ceará, pertencentes aos quadros da Polícia Civil, Polícia Militar e Corpo de Bombeiros, vinculadas da SSPDS - Secretaria da Segurança Pública do Estado do Ceará.

No mês de novembro de 2019 foi usado o estande de tiro outdoor numa escola de tiro localizada na cidade de Itaitinga, região metropolitana da capital cearense. Já em março de 2020 o palco para coleta de dados foi um estande de tiro utilizado para treinamentos de profissionais policiais. A munição utilizada neste estudo foi a munição calibre .40 fabricada pela Companhia Brasileira de Cartuchos (CBC), intitulada *Non Toxic Ammunition* (NTA), que de acordo notas do fabricante, possui uma espoleta com mistura iniciadora isenta de metais pesados, como chumbo e bário, sendo utilizadas normalmente para treinamentos. Especificações na embalagem do produto afirmam que este tipo de munição não gera grandes quantidades de gases ou resíduos tóxicos durante o disparo.

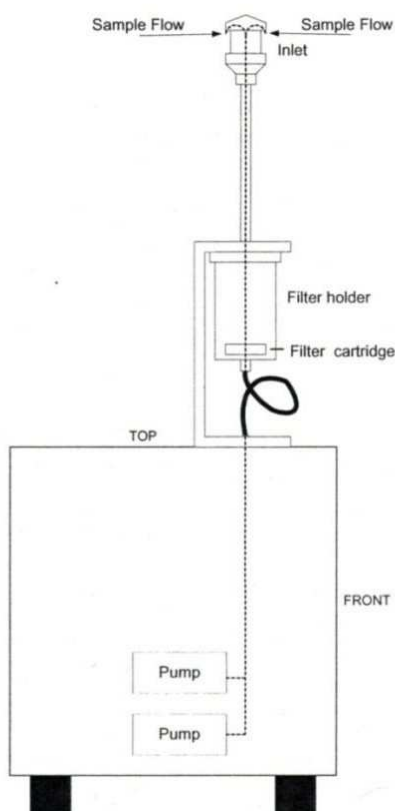
4.2 Equipamento de Medição

As medições foram realizadas com o equipamento MINI-PARTISOL 2100 AIR SAMPLE, fabricado pela Thermo Fisher Scientific Inc. (Franklin, MA — EUA), considerado nos Estados Unidos e na Europa como um dos mais adequados

aparelhos para medições de partículas em suspensão com um diâmetro inferior a 10 micrômetros (μm) - PM_{10} - no ambiente exterior resistindo às variações sazonais, a ambientes industriais e ambientes interiores funcionando de modo bastante silencioso (THERMO, 2012).

O cubo de controle, como se pode observar na Figura 28, possui um suporte superior montado no topo e a partir deste tem um tubo com 1,27 cm de diâmetro externo e com 30,5 cm de altura na vertical. O suporte do filtro encaixa na parte superior do suporte usando a conexão modular, ligando-se ao fundo do cubo de controle através de tubos. No seu interior tem duas baterias, cada uma com uma duração de 24 h e também tem a opção de ligar a corrente elétrica, conforme ficha técnica contida no manual.

Figura 28 - Ilustração da composição do Mini-Partisol 2100 Air Sample



FONTE: Operating Manual – Mini-Partisol® Model 2100 Air Sampler, THERMO, 2012

O dispositivo foi concebido para amostras com taxas de fluxo entre 2 e 10 L/min, com um padrão de taxa de fluxo de 5 L/min usando um filtro como base para as amostras e um ponto de 10 L/min para recolha de especificação. Para as medições, a seleção do tamanho da partícula é realizada a uma taxa de fluxo de 5 L/min usando uma cabeça de entrada de amostragem PM_{10} . As condições de operação

que podem ser utilizadas no aparelho estão citadas na Tabela 5.

Tabela 5 – Condições de operação do MINI-PARTISOL® MODEL 2100 AIR SAMPLER 2004

PARÂMETROS	VALORES
Taxa de fluxo	2 - 10,9 L/min
Resolução do visor de fluxo:	0,1 L / min
A precisão de fluxo (ponto de ajuste calibrada):	± 5%
A duração da amostra	de 1 minuto a 1 semana (168 horas)
Ambiente	de - 20 a 60 °C.

Os dados exibidos no mostrador são atualizados a cada segundo. A sua capacidade de armazenamento é de 10 registos de filtro de dados, incluindo início/fim da data/hora, o tempo decorrido (hh:mm), estado, localização, volume (m³), a temperatura média (°C), a pressão (Mb), a velocidade do vento (km/h), a velocidade (km/h) e a direção (graus) (THERMO, 2012).

Acerca das características externas é constituído por uma caixa de alumínio (robusta o suficiente para resistir a intempéries), um *hardware* Universal, cabo RS232, terminais de fecho de contato, ligações de entrada de energia e uma entrada de borracha para as ligações com os cabos externos. As Tabelas 6 e 7 apresentam as dimensões do equipamento, com ênfase para o cubo de controle, e para osuporte dos filtros coletores, respectivamente.

Tabela 6 - Dimensões do Cubo de Controle do MINI-PARTISOL® MODEL 2100 AIR SAMPLER 2004

CUBO DE CONTROLE	
Altura	23,5 cm sem <i>hardware</i> de amostragem
Altura	81,6 cm com suporte PM amostragem e tubo de entrada
Largura	21,6 cm
Profundidade	20,3 cm
Peso	2,8 kg sem bateria e <i>hardware</i> de amostragem
Peso	7,1 kg uma bateria, nenhum <i>hardware</i> de amostragem
Peso	11,4 kg duas baterias, nenhum <i>hardware</i> de amostragem

Tabela 7 - Caracterização do Suporte do filtro do MINI-PARTISOL® MODEL 2100 AIR SAMPLER 2004

SUPORTE DO FILTRO	
Material	Alumínio anodizado
Diâmetro	6,3 cm, redondos
Comprimento	12,7 cm com fase única
Comprimento de estágios Adicionais	1,3 cm
Peso com fase única	1,16 kg

As amostras que foram analisadas por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) com espectroscopia dispersiva de energia de raios X (EDS), teve sua coleta realizada nas mãos do atirador, após uma sequência de dez disparos, utilizando fita adesiva de carbono, com área de coleta de 100 mm², pressionando-a sobre a superfície da região dorsal (articulações interfalangeanas distais, articulações interfalangeanas proximal e prega longitudinal radial), ilustrada na Figura 30, vale salientar que durante as medições foi utilizado filtro de microfibras Whatman de 4,7 cm (Figura 29).

Figura 29 - Filtro Whatman



FONTE: Operating Manual – Mini-Partisol® Model 2100 Air Sampler, THERMO, 2012

Figura 30 - Coleta de amostras na mão do atirador



FONTE: Arquivo próprio do Autor, 2020

4.3 Armamento Utilizado

O armamento escolhido para efetuação dos disparos, geradores dos GRS's, foi a Pistola de calibre .40 modelo PT 100 de fabricação da Taurus. O motivo da escolha do armamento é que se trata de uma das armas de fogo mais utilizada entre as polícias brasileiras, é robusta, segura e muito precisa apesar de suas grandes dimensões em relação a modelo de pistolas desenvolvidas nos últimos anos, como a PT 840 calibre .40 produzida pelo mesmo fabricante (Figura 31). Seu mecanismo trabalha no primeiro tiro em ação dupla e nos subseqüentes em ação simples. É usada como arma principal e seus principais componentes são: a armação, o ferrolho e o cano com câmara.

É uma arma semiautomática, o que significa dizer que se utiliza da ação dos gases para a realização do disparo, reduzindo a força utilizada pelo atirador no momento de acionar a tecla do gatilho. Em outras palavras aproveitam a força expansiva dos gases para operar o mecanismo que irá extrair da câmara o estojo deflagrado, ejetá-lo, e, com o retorno do mecanismo à posição de disparo, introduzir um novo cartucho na câmara, deixando-a em condições de efetuar um novo disparo. Nas Figuras 32 e 33 estão listadas as principais peças que compõem a PT 100 vistas a partir da pistola montada e desmontada:

Figura 31 - Pistola PT 840, calibre .40



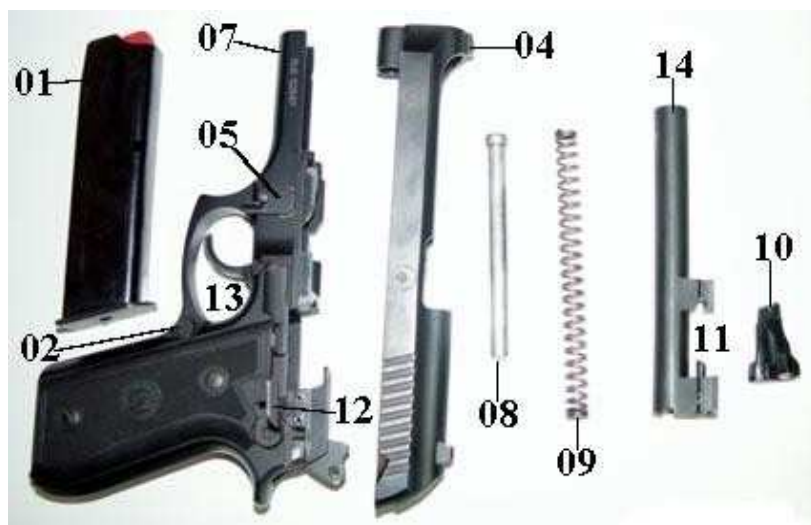
FONTE: www.taurus.com.br

Figura 32 - Pistola PT 100, calibre .40 de fabricação da Taurus



Fonte: www.taurus.com.br

Figura 33 - Vista explodida da Pistola PT 100



01 - Carregador; 02 - Retém do carregador; 03 - Extrator; 04 - Ferrolho; 05 - Retém da alavanca de desmontagem; 06 - Alavanca de desmontagem; 07 - Armação ou chassi; 08 - Haste guia da mola recuperadora; 09 - Mola recuperadora; 10 - Mergulhador do bloco de trancamento; 11 - Bloco de trancamento; 12 - Registro de segurança e desarmador do cão; 13 - Tecla do gatilho; 14 - Cano.

Fonte: www.taurus.com.br

A PT 100 é uma arma relativamente grande e pesada, pouco indicada para o porte fora de serviço, por sua “indiscrição” de mais de 20 centímetros. Além disso, costuma ter incidência de ferrugem no seu modelo oxidado, daí a necessidade da constante manutenção. Na Tabela 8 apresenta-se os detalhes técnicos da PT 100.

Tabela 8 - Detalhes Técnicos da Pistola PT 100

CALIBRE .40
Nº de Tiros: 11 + 1 ou 13 +1 (carregador com alongador)
Peso: 965g
Ação: Simples e Dupla
Comprimento do Cano ou Provete: 125mm
Comprimento Total: 217mm
Miras: Massa e alça metálicas e fixas, com sistema de 3 pontos
Cabo: Borracha

Segurança: Trava manual externa com desarmador do cão ambidestro, Trava do percussor, Indicador de cartucho na câmara

Acabamento: Oxidado ou inox.

4.4 Munição Utilizada

A munição NTA está disponível nos calibres .38 **SPL** (Special), 9 mm, .380 AUTO e .40 **S&W** (Smith & Wesson), podendo ser facilmente identificadas pelas gravações das siglas **CR** (*clean range*) na espoleta e **NTA** (*Non Toxic Ammunition*) no culote do estojo. Segundo dados obtidos na etiqueta encontrada na própria caixa da munição da CBC, a munição NTA (Figura 33) é uma tendência mundial, que visa à proteção da saúde do usuário e do meio-ambiente.

Figura 34 - Munição Trainee – representação em variados calibres



Fonte: www.cbc.com.br

Esta munição enquanto mantida armazenada na embalagem original, a partir da data de fabricação, possui uma validade de 10 anos, sendo mantida sob as condições ideais de temperatura (entre 20 e 25 graus celsius) e umidade relativa do ar entre 65 e 75%. Recomenda-se que após aberta a embalagem, o produto seja utilizado num prazo máximo de 6 meses, cujas propriedades físicas verifica-se na Tabela 9.

Tabela 9 – Propriedades Físicas de Munição NTA

MUNIÇÃO	PESO DO PROJÉTIL		VELOCIDADE À DISTÂNCIA (4,6m)*	ENERGIA À DISTÂNCIA (4,6m)*	PROVETE (comp. do cano)	
	Grains	Gramas	m/s	Joules	cm	Pol
.38 SPL	158	10,24	229	269	10,2	4
9 mm	124	8,04	332	443	10,2	4
.40 S&W	180	11,66	300	525	15,24	6
.380 AUTO	95	6,16	288	255	10,2	4

Obs1: Para comparativos de poder de parada, o parâmetro a ser usado é a coluna de Energia.

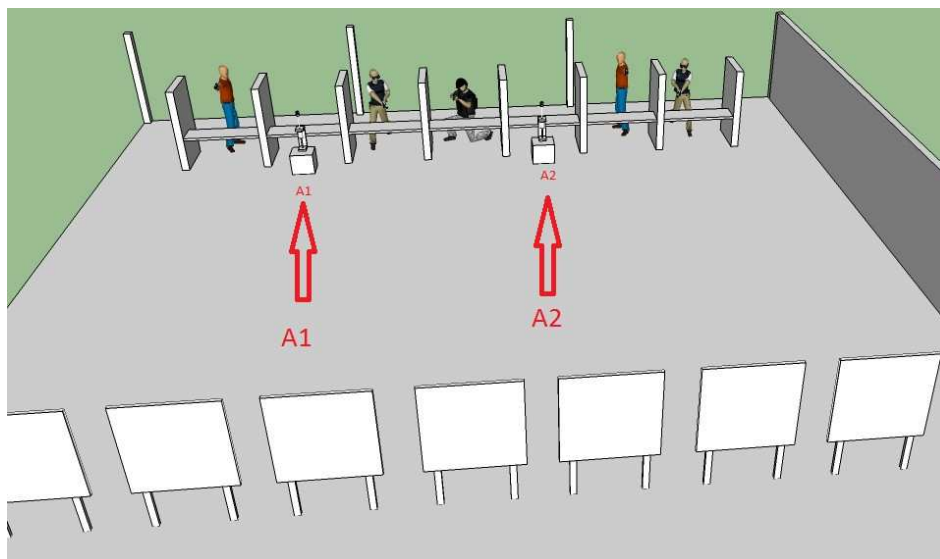
Obs2: (*) Os valores poderão variar de acordo com as características do provete.

5. PARTE EXPERIMENTAL – METODOLOGIA DE COLETA DE DADOS

5.1 Estande 1 – Sniper

Foram instalados dois aparelhos *Mini-Partisol 2100 - Air Sample* entre as raias dos postos de tiro no estande, que comportava naquela ocasião uma gama de Policiais do Estado do Ceará que se submetiam a treinamentos oficiais de aprimoramento em Balística, momento no qual este subscritor figurava como Instrutor. O primeiro aparelho (A1) foi montado na região lateral direita entre as raias 1 e 3. O segundo equipamento (A2) teve sua montagem na ala esquerda dos postos de tiro, precisamente entre a sexta e oitava raia. Conforme ilustração nas Figuras 35 a 38.

Figura 35 - Esquema ilustrativo das disposições dos equipamentos em operação



Fonte: Próprio autor (2019)

Figura 36 - Estande de tiro, antes da instalação dos equipamentos.



Fonte: Arquivo próprio do autor, 2020.

Figura 37 - Foto do equipamento A2 na lateral esquerda.



Fonte: Arquivo próprio do autor, 2020.

Figura 38 - Policias efetuando disparos, com aparelho em funcionamento coletando dados.



Fonte: Arquivo próprio do autor, 2020.

O fato é que, ao se efetuar tiros, forma-se uma nuvem gasosa onde estão presentes produtos da detonação da mistura iniciadora da espoleta e da carga de projeção contida no estojo. No momento da detonação, a temperatura no interior da espoleta chega a atingir 2.500 °C e os componentes metálicos se vaporizam. Estes são rapidamente condensados formando partículas esféricas muito pequenas (podendo variar entre 0,1 μm a 5 μm). Estas partículas apresentam características peculiares, quer pela sua morfologia, quer pela sua composição química. Parte desses resíduos sólidos permanece dentro do cano, ao redor do tambor, (no caso dos revólveres, na câmara de percussão) e na região do ferrolho quando a arma utilizada trata-se de uma pistola, sendo que uma certa gama é projetada para o meio externo, contaminando a mão do atirador, suas vestes e anteparos.

As Figuras 37 e 38 mostram as condições de instalação dos aparelhos *Mini-Partisol 2100 - Air Sample* (A1 e A2) utilizado para medições das partículas em suspensão. Como visto, foram montados ao solo imediatamente na frente dos atiradores e suas armas, cuja altura da boca que expeliu os projetis e GSR's, localizou-se ao nível do tubo coletor do aparelho facilitando, dessa forma, a captação dos resíduos vaporizados. De modo que a medição se efetuasse em ato contínuo, o aparelho foi ligado diretamente à rede elétrica local.

A primeira etapa das medições realizadas deu-se início no dia 04 (quatro) de dezembro terminando no dia 06 (seis) seguinte do ano de 2019. O dia estava ensolarado com a temperatura média de 28 °C, com leve precipitação durante a manhã do dia 05 (cinco) de dezembro. Havia uma baixa circulação de vento

decorrente das próprias paredes do estande servirem como barreiras.

Após as medições, os aparelhos, foram desmontados com sucessiva remoção das membranas ou filtros de papel *Whatman* com os resíduos dos tiros adsorvidos em sua superfície, os quais foram imediatamente acondicionados e lacrados em *PLACAS DE PETRI* de acrílico (Figura 39). Todo esse material foi em seguida remetido ao laboratório credenciado da Universidade de Trás-os-montes e Alto Douro – UTAD para as devidas análises físico-químicas.

Figura 39 - Placa de Petri de acrílico com filtro de papel armazenado.



Fonte: Arquivo próprio do autor, 2020.

5.1.1 Procedimentos Práticos

No primeiro dia do experimento foram montados os aparelhos *Mini-Partisol 2100*, que trabalharam ininterruptamente das 8 às 17 h, tendo sido instalado um filtro de papel em cada aparelho durante esta jornada diária. Utilizando a arma e munições supramencionadas, 30 (trinta) alunos efetuaram 75 disparos cada um, totalizado 2.250 tiros no primeiro dia. A temperatura estava aproximadamente 30 °C.

No dia seguinte, nas mesmas condições citadas acima, outros 30 (trinta) alunos efetuaram 135 tiros, totalizando ao final do dia uma coleta de mais dois filtros de papel adsorvidos a GRS's provenientes de 4.050 disparos. A Tabela 12 apresenta o número de disparos com as datas dos experimentos. Finalizados os trabalhos deste segundo dia, foi montado o equipamento A1 e A2 com um novo filtro de coleta que funcionou das 18 h até as 6 h da manhã do terceiro e último dia de ensaio, com o estande em repouso. O intuito foi de verificar quantitativamente o grau de saturação do ambiente após os contínuos disparos ocorridos durante o dia.

Já na manhã do dia seguinte, foi realizada a desmontagem dos aparelhos A1 e A2, coletando seu respectivos papéis de filtro. Os filtros coletores foram acondicionados em placas de Petri, para serem remetidos ao laboratório da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro (UTAD) em Portugal, para as devidas análises quantitativas e qualitativas dos subprodutos formados a partir da queima da espoleta e, carga propelente da munição em estudo.

Tabela 10 – Dados quantitativos dos disparos efetuados durante a coleta de dados nas respectivas carreiras de tiro, com munições correspondentes

Data	Local/Munição	Turno	Disparos Efetuados	Nº Alunos	Total de Disparos
04/12/2019	Sniper / NTA	Manhã	30	30	2.250
		Tarde	45		
05/12/2019	Sniper / NTA	Manhã	50	30	4.050
		Tarde	85		

Fonte: Autoria própria, 2020

Os tratamentos de higienização com os materiais de uso foram altamente rigorosos, que tanto as armas como as cabeças coletoras da máquina, passaram por um processo de limpeza, fazendo com que os valores obtidos pudessem ser o mais real possível, de forma a minimizar a leitura equivocada por contaminação de GSR provenientes de disparos anteriores.

Antes do início das coletas, realizou-se a amostragem do branco (medições que foram realizadas antes das sequências de tiro), no caso, os equipamentos foram instalados e funcionaram por 24 horas *in loco* exatamente no dia que antecedeu os disparos com armas de fogo. As amostras nomeadas de branco que foram enviadas ao laboratório da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro (UTAD), não foram tratadas quimicamente.

5.1.2. Métodos analíticos

Concentração mássica de metais coletados nos filtros

Inicialmente, os filtros foram digeridos com ácido nítrico 20% v/v (10 mL de ácido para 50 mL de volume final de solução). As soluções resultantes foram analisadas para bário (Ba), cálcio (Ca), ferro (Fe), magnésio (Mg) e potássio (K) por

Espectroscopia de absorção atômica de chama (ICE 3000 Series, Thermo Scientific, UK).

Enquanto alumínio (Al), antimônio (Sb), arsênio (As), cádmio (Cd), cobre (Cu), chumbo (Pb) manganês (Mn), níquel (Ni) e zinco (Zn) foram determinados por espectroscopia de absorção atômica de forno de grafite, sigla em inglês conhecida como GF-AAS (939 AAS Unicam/GF 90 Furnace/FS 90 Furnace Autosample, Unicam, EUA). Para determinar o mercúrio (Hg) presente, foi usado o equipamento DMA-80 Direct Mercury Analyzer da Milestone-Helping Chemists.

Determinação dos metais coletados na mão do atirador

A morfologia e a presença de metais nas amostras retiradas das mãos do atirador foram observadas por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) com espectroscopia por dispersão de energia de raios-X (EDS). As análises foram realizadas em um SEM FEG Quanta 450 com Espectroscopia de Energia Dispersiva de Raios-X (EDS). As amostras foram depositadas em fita de carbono e metalizadas com prata metálica por *Metalizator Quorum* QT150ES. Foi aplicada pressão de 10 Pa na câmara do MEV, com feixe de elétrons incidente de 20 kV.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1. Análises das amostras coletadas no ar

As Figuras 40 e 41 apresentam os resultados das partículas atmosféricas PM10 coletadas pelos dois equipamentos, A1 e A2, respectivamente, dos componentes encontrados nos GSR's obtidos nos dois experimentos, que tiveram quantidades diferentes de disparos com munição NTA.

Os resíduos dos tiros a partir da munição NTA CleanRange® da CBC apresentaram a presença dos seguintes elementos químicos: Cu, Pb, Sb, Zn, As, Cd e Ni, além de Mercúrio (Hg), vide Figuras 40 e 41. Não foi detectado bário (Ba) em nenhum dos equipamentos de coleta, nos experimentos realizados, com o limite de detecção da técnica de 0,5 - 20 mg/L. Os metais determinados em maiores quantidades foram Zn e Cu, seguidos por Pb e Ni.

Os dados obtidos demonstraram que a composição da munição CleanRange® NTA produziu uma faixa residual de partículas. Embora a presença do elemento Ba não tenha sido observada nas análises químicas, cujos resultados foram zero em todas as investigações, o Pb foi detectado em todas as análises e registrou quantidades variadas (vide Figuras 40 a 42). Esta pesquisa, então, corrobora as informações do fabricante sobre o Ba. No entanto, observou-se que ainda contribuem para a contaminação do ar por outros elementos.

Os resíduos de tiro são formados em condições específicas de temperatura e pressão durante o disparo, originando gases (CO, CO₂, óxidos de azoto, entre outros) e partículas (PM1 — PM10) constituídas pelos elementos Sb, Ba, Pb, Cu, Zn, dentre outros e por elementos derivados dos explosivos TNR (trinitroresorcinato de Pb), existentes no "primer". Esta variação depende do tipo de arma empregada e do calibre (quanto maior o calibre, maior o tamanho médio das partículas). A composição também pode variar, dependendo dos explosivos da espoleta ou carga inicial.

Figura 40 - Quantidade de metais detectados por m³ de ar coletados nos processos de amostragem usando o Equipamento A1, em experimentos com quantidade diferentes de disparos.

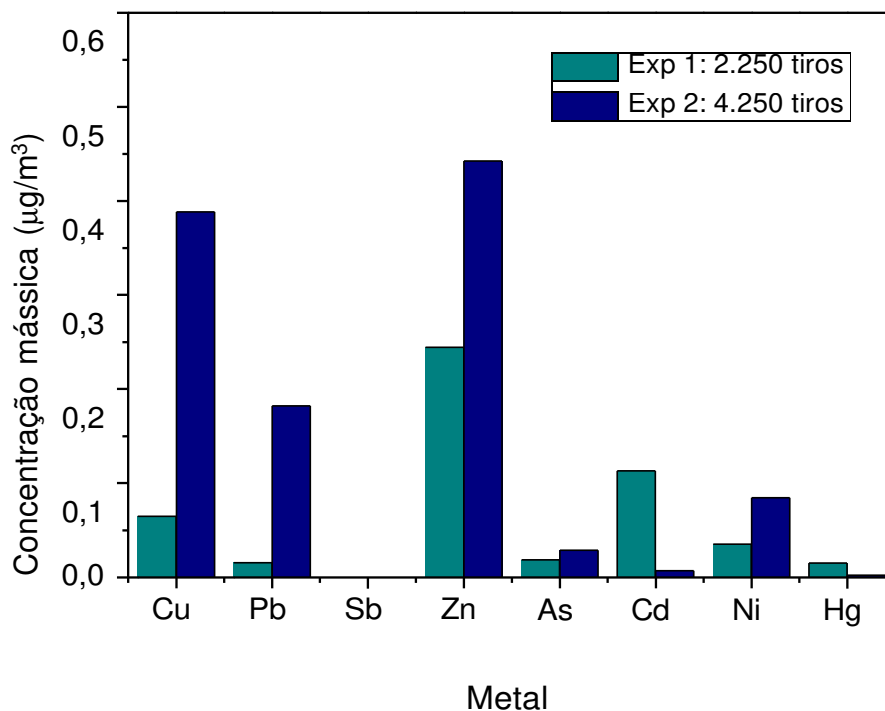
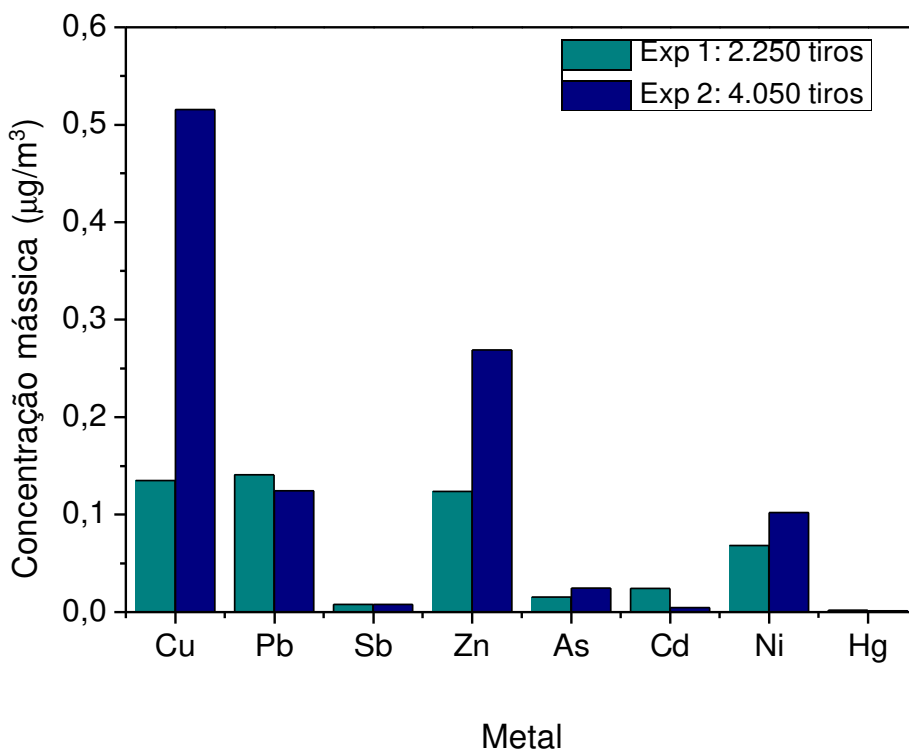


Figura 41 - Quantidade de metais detectados por m³ de ar coletados nos processos de amostragem usando o Equipamento A2, em experimentos com quantidade diferentes de disparos.



O número de disparos efetuados durante a coleta de dados com as munições do tipo NTA (Non Toxic ammunition) influenciou as concentrações de resíduos (Figuras 39 e 40), mas não foi obtida uma relação linear para todos os metais devido a parâmetros externos como: ao horário exato dos disparos (apesar do tempo da amostragem ter sido padronizado); a localização do equipamento a qual se submeteu a coleta nos filtros, a corrente de ar e as condições climáticas, pois no dia do experimento com 4.050 disparos, o dia estava com leve precipitação durante a manhã (nas primeiras quatro horas do ensaio). A velocidade do vento é um parâmetro importante pois influencia na difusividade destes elementos, auxiliando e dificultando o fenômeno de transporte de massa.

O posicionamento de alguns atiradores com relação ao MINI-PARTISOL era peculiar, pois, os equipamentos foram instalados numa região localizada bem abaixo das pistolas disparadoras. Os atiradores posicionaram-se de pé, sentados e deitados, fazendo com que os equipamentos captassem um grande número de material particulado, expelido pelas aberturas e folgas presentes na arma. No caso das pistolas, o escape dos gases se dá principalmente pela boca do cano, janela de ejeção e eventos de exaustão (quando presentes).

Os metais detectados em menores quantidades foram Sb, As, Cd e Hg, e estão representados na Figura 42. O Hg apresentou a menor concentração mássica. E o que é importante de enfatizar, é que alguns desses metais afetam as funções biológicas e o crescimento, enquanto outros se acumulam em um ou mais órgãos diferentes, causando várias doenças graves, conforme Figura 42 (BRIFFA et al. 2020).

Figura 42 – Metais pesados e seus efeitos.

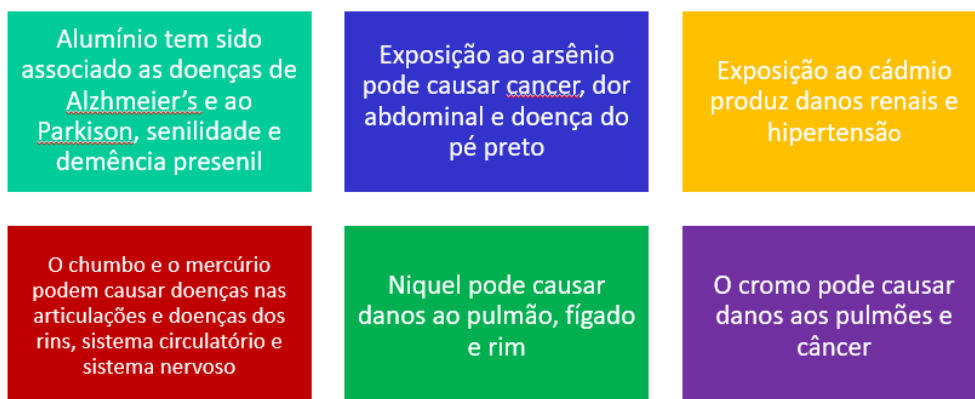
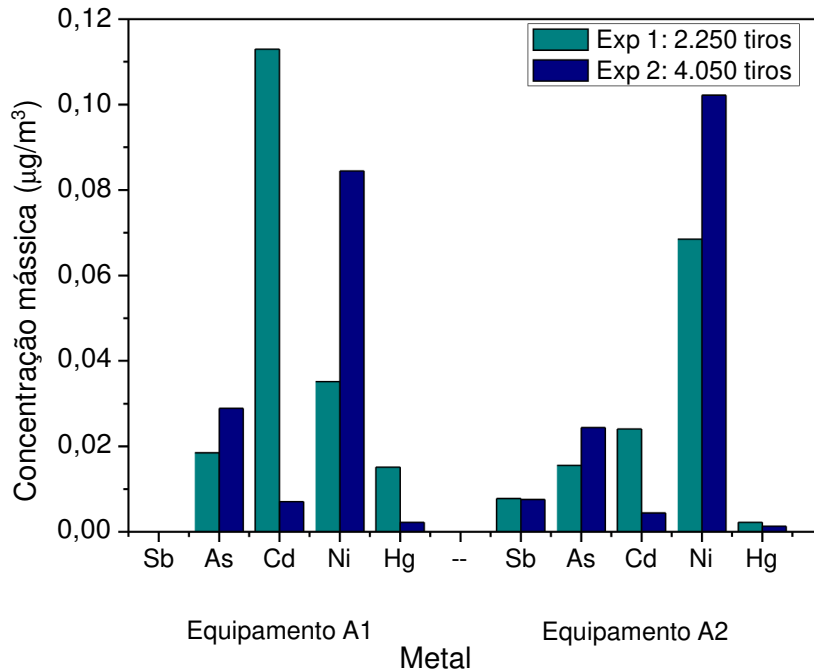
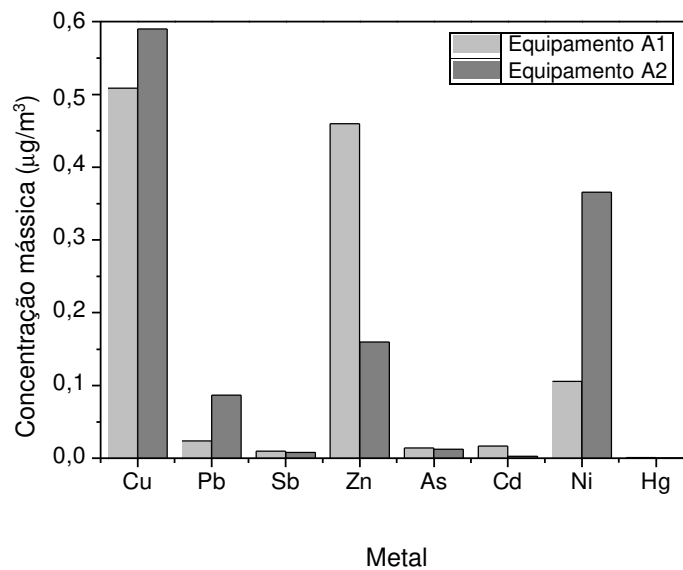


Figura 43 - Quantidade dos metais (antimônio, arsênio, cádmio e mercúrio) detectados por m³ de ar coletados nos processos de amostragem usando os Equipamentos A1 e A2, em experimentos com quantidade diferentes de disparos.



O tempo que as partículas permanecem na atmosfera depende do seu tamanho, mas também das condições meteorológicas. A Figura 43 mostra a concentração em massa dos metais obtida durante um período de 12 h, com a medição iniciando imediatamente após a segunda sessão de tiro. As concentrações de alguns metais foram superiores às obtidas durante a sessão de tiro, confirmando não só que esses metais permanecem na atmosfera após a sua emissão, mas também indicando que as condições ambientais noturnas, por exemplo, temperatura mais baixa, favorecem a precipitação do ar com a presença de metais.

Figura 44 - Quantidade de metais detectados por m³ de ar coletado durante os procedimentos de amostragem nos Equipamentos A1 e A2, nas 12 horas imediatamente após a sessão de tiro.



É importante frisar que a contaminação dos indivíduos que praticam tiros pode ocorrer pela inalação através das vias respiratórias, por ingestão indireta através do contato de partes do corpo, de vestuário, alimentos ou água, e através da absorção pela pele. As respostas individuais à exposição apresentam variações de indivíduo para indivíduo, os sintomas são os característicos do envenenamento por metais pesados, facilmente confundíveis com outras causas, tais como: fraqueza, cansaço, irritabilidade, constipação, anorexia, desconforto abdominal e respiratório, cólicas, tremores, anemia, perda de memória, contaminações hepáticas e sanguíneas.

A poluição ambiental dos metais pesados identificados é cada vez mais um problema e os órgãos responsáveis regulam os limites permitidos para esses metais. Alguns exemplos são apresentados na Tabela 11 (para ar no Local de Trabalho) e na Tabela 12 (para Qualidade do Ar Ambiente).

Tabela 11 – Valores de referência para ar no ambiente de trabalho, que são citados na Legislação Europeia, na Occupational Safety and Health Administration (OSHA) e no National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). Fonte: [1-12].

PARÂMETRO	LEGISLAÇÃO EUROPEIA	OSHA	NIOSH	
	Limite de exposição ao longo de um dia de trabalho			
		8 hora ^(a)		10 hora
		mg/m ³ ^(b)		
Alumínio		5 ^[3] (d) 15 ^[3] (f)		
Arsênio	0,01 ^[2] (c)	0,01 ^[4]		
Bário	0,5 ^[1]			
Cádmio	0,001 ^[2] (c)	0,005 ^[5]		
Cobre		0,1 ^[6] (g) 1 ^[6] (f)		
Cromo	0,005 ^[2]	Cr (VI): 0,005 ^[7] Cr (III): 0,5 ^[7] Cr (0): 1 ^[7]	Cr (0), Cr (II) and Cr (III): 0.5 ^[7]	Cr (VI): 0,001 ^[7]
Chumbo			0,5 ^[8] (h) 50 ^[8] (i) 30 ^[8] (j)	0,05 ^[8]
Manganês	0,2 ^[1] (c) 0,05 ^[1] (d)	5 ^[9]		
Mercúrio	0,02 ^[1] (e)	0,05 ^[10]		0.05 ^[10]
Níquel		1 ^[11]		
Zinco		1 ^[12] (k) 5 ^[12] (l)		1 ^[12] (k)

^(a) Medido ou calculado em relação a uma média ponderada no tempo para um período de referência de oito horas.

^(b) mg/m³: miligramas por metro cúbico de ar. Na legislação Europeia /portuguesa, para produtos químicos na fase gasosa ou vapor, o valor limite é expresso em 20 °C e 101,3 kPa.

^(c) Fração inalável.

^(d) Fração respirável.

^(e) Valor-limite de exposição de curto prazo em relação a um período de referência de 1 minuto (acima do qual não deve haver exposição).

^(f) Poeira total.

^(g) Vapores no ar.

^(h) Limite legal na indústria geral para chumbo elementar, orgânico e inorgânico.

⁽ⁱ⁾ Limite legal em estaleiros e canteiros de obras para chumbo elementar, orgânico e inorgânico.

^(j) Nível de ação para a indústria e construção de chumbo elementar, orgânico e inorgânico.

^(l) Limite legal de vapores de cloreto de zinco no ar.

^(k) Limite legal de óxido de zinco e poeira de fumos.

^[1] O Decreto-Lei n.º 1/2021, de 6 de janeiro, procedeu à terceira alteração ao Decreto-Lei n.º 24/2012, de 6 de fevereiro, alterado pelo Decreto-Lei n.º 88/2015, de 28 de maio, e n.º 41 / 2018, de 11 de junho, que transpôs para o ordenamento jurídico interno português a Diretiva (União Europeia) 2019/1831, da Comissão, de 24 de outubro de 2019, que estabeleceu uma quinta lista de limites indicativos de exposição ocupacional para agentes químicos nos termos do Conselho Diretiva 98/24 / CE e, portanto, que altera a Diretiva 2000/39 / CE da Comissão Europeia.

^[2] Decreto-Lei n.º 102-A/2020, de 9 de dezembro, alterou o Decreto-Lei n.º 301/2000, de 18 de novembro, na alteração prevista pelo Decreto-Lei n.º 35/2020, de 13 de julho, que transpôs as Diretivas (UE) 2017/2398, 2019/130 e 2019/983.

^[3] ATSDR – Agency for Toxic Substances and Disease Registry. 2008.

^[4] ATSDR – Agency for Toxic Substances and Disease Registry. 2007.

^[5] ATSDR – Agency for Toxic Substances and Disease Registry. 2012a.

^[6] ATSDR – Agency for Toxic Substances and Disease Registry. 2004.

- [7] ATSDR – Agency for Toxic Substances and Disease Registry. 2012b.
 [8] ATSDR – Agency for Toxic Substances and Disease Registry. 2020.
 [9] ATSDR – Agency for Toxic Substances and Disease Registry. 2012c.
 [10] ATSDR – Agency for Toxic Substances and Disease Registry. 1999.
 [11] ATSDR – Agency for Toxic Substances and Disease Registry. 2005a.
 [12] ATSDR – Agency for Toxic Substances and Disease Registry. 2005b.

Tabela 12 – Padrões europeus de qualidade do ar para proteger a saúde humana de metais tóxicos e diretrizes de qualidade do ar da Organização Mundial da Saúde (OMS) (AQG) e níveis de referência estimados (RL) [1-5].

Poluente	Tipo Padrão	Concentração/ano	Comentários
Arsênio (As)	EU valor alvo [1]	6 ng/m ³	Medido como conteúdo em PM10 (a)
	WHO RL [2] (b)	6.6 ng/m ³	
Cádmio(Cd)	EU valor alvo [1]	5 ng/m ³	Medido como conteúdo em PM10 (a)
	WHO AQG [3]	5 ng/m ³	
Manganês (Mn)	WHO AQG [3]	0.15 µg/m ³	
Mercúrio (Hg)	WHO AQG [3]	1 µg/m ³	
Níquel (Ni)	EU valor alvo [1]	20 ng/m ³	Medido como conteúdo em PM10 (a)
	WHO RL [2] (b)	25 ng/m ³	
Chumbo (Pb)	EU valor limite [4,5]	0.5 µg/m ³	Margem de tolerância: 100% Medido como conteúdo em PM10 (a) PM10 (a)
	WHO AQG [3]	0.5 µg/m ³	

(a) PM10, partículas com diâmetro igual ou inferior a 10 µm.

(b) Os compostos de arsênio e níquel são cancerígenos e nenhum nível seguro de exposição por inalação pode ser recomendado. Os níveis fornecidos correspondem a um nível de risco excessivo ao longo da vida de 10⁻⁵.

[1] Directive 2004/107/EC of the European Parliament and of the Council of 15 December 2004.

[2] ETC/ACM, Evaluation of current limit and target values as set in the EU Air Quality Directive.

[3] WHO. Air quality guidelines for Europe, 2nd ed. Copenhagen,

[4] Directive 2008/50/EC of the European Parliament and of the Council of 21 May 2008 on ambient air quality and cleaner air for Europe.

[5] EEA – European Environment Agency (ed.). 2020. Air quality in Europe — 2020 report.

Existem impactos ambientais decorrentes de estandes de tiro. Emissões em campos de tiro resultam no acúmulo de elevadas concentrações de chumbo em solos superficiais (CHEN et al., 2002; FAYING e SAHA, 2016). Esta situação é preocupante porque as partículas de chumbo não se biodegradam naturalmente no solo. A meia-vida do chumbo na superfície do solo tem sido estimado em aproximadamente 700 anos (SEMHALI et al., 2004). Portanto, se não for tratado adequadamente o ambiente de treinamento de tiros, estes locais podem resultar em exposições ao chumbo por centenas de anos, que pode ser transportado pela massa de ar interno do campo de tiro (LAIDLAW et al., 2014).

Também, pode ocorrer migração do chumbo presente nos sedimentos do solo de campo de tiro contaminados, durante eventos de chuva para propriedades vizinhas e em cursos de água através de escoamento ou bueiros. Então, destaca-se que animais, biota e humanos podem ser expostos ao chumbo por solos contaminados e por partículas transportadas pelo ar.

O Programa Nacional de Toxicologia dos Estados Unidos conclui que há evidências suficientes de que os níveis de Pb no sangue $<10 \mu\text{g/dL}$ e $<5 \mu\text{g/dL}$ estão associados a efeitos adversos à saúde em crianças e adultos como, porexemplo, a efeitos neurológicos, imunológicos, cardiovasculares, renais e/ou reprodutivos e de desenvolvimento (Programa Nacional de Toxicologia - USA, <http://ntp.niehs.nih.gov/go/evals>). Os metais detectados em menores quantidades foram Sb, As, Cd e Hg, cujos os resultados estão apresentados na Figura 44.

Um dos metais detectados em baixa quantidade é o mercúrio (vide Figura 40). O mercúrio é um elemento com um alto teor de toxicidade presente no fulminato de mercúrio (II), composto químico de fórmula $\text{Hg}(\text{CNO})_2$, que é um explosivo primário, muito sensível à fricção e ao impacto, cuja densidade é $4,43 \text{ g/cm}^3$. Utilizado sobretudo como iniciador de outros explosivos em detonadores e espoletas. O cianato de mercúrio (II), apesar de possuir a mesma fórmula química apresenta um arranjo diferente dos seus átomos, os íons cianato e fulminato são isômeros. A indústria bélica vem há tempos substituindo-o pelo estifnato de chumbo (2,4,5-trinitrorresorcinato de chumbo), azida de chumbo e derivados de tetrazeno, compostos mais eficazes, não-corrosivos, menos tóxicos e mais estáveis ao longo do tempo.

Outro fator de suma importância da conclusão desta investigação é que, o equipamento nominado A1, localizado sempre na parte direita das carreiras de tiro, após análises físico-químicas verificou que seus filtros apresentaram valores quantitativos de elementos químicos superiores aos avaliados a partir dos filtros coletados no equipamento A2, que foi localizado sempre na região esquerda das carreiras de tiro. Uma explicação plausível para este fenômeno é que as pistolas dos atiradores dispõem de uma janela de ejeção de estoijos que predomina para a posição direita da arma e do atirador. Junto com as capsulas metálicas expulsas naturalmente são carregadas grandes quantidades de micropartículas residuais para a mesma direção, concentrando, dessa forma, mais a região direita do estande de tiro, da arma e do atirador. Muskett e Caswell (1980) mostram através de medições ambientais que a concentração de chumbo, aerotransportada, pode variar muito com locais de amostragem e até com tempo de amostragem.

Logo, o design e execução do sistema de ventilação em estande de tiros fechados (*indoor shooting*) desempenham um papel importante em eliminar a contaminação por elementos tóxicos transportados pelo ar. Enquanto que em estandes abertos (*outdoor shooting*) ocorre uma diluição natural destes elementos, que dependem principalmente de diluição natural e também do design, logo, um maior cuidado com este ambiente faz necessário, principalmente levando em consideração a gama de elementos determinadas nas amostras e sua toxicidade.

6.2. Análises na mão do atirador

Além das análises das amostras coletadas do ar, foram realizadas amostragens na mão do atirador (autor desta dissertação) para averiguar quais metais eram determinados em maior quantidade. Nesta análise, foram coletadas amostras em diferentes posições da mão, conforme mostrado na Figura 43, e os resultados destas análises estão apresentados nas Figuras 44 e 45. E análises mais detalhadas estão no Apêndice (Figuras S1 a S3).

Figura 45 - Desenho que indica as posições de coleta de amostra na mão direita do atirador. Região dorsal: Posição 1 - articulações interfalangeanas distais; Posição 2: articulações interfalangeanas proximais; e Posição 3: prega longitudinal radial.

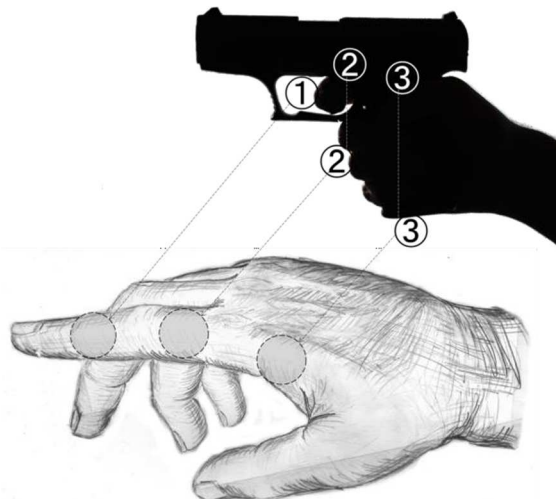
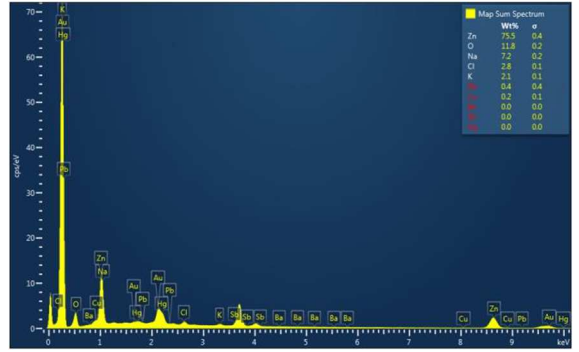
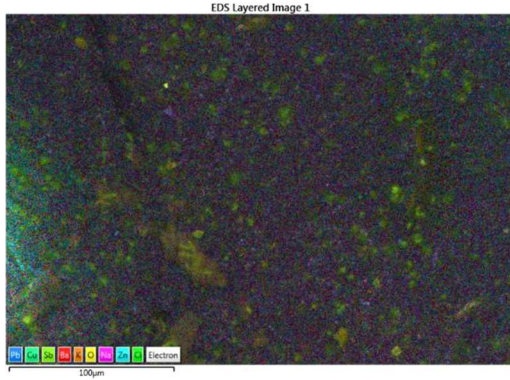
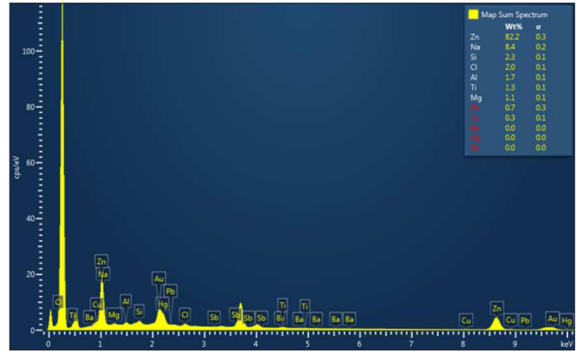
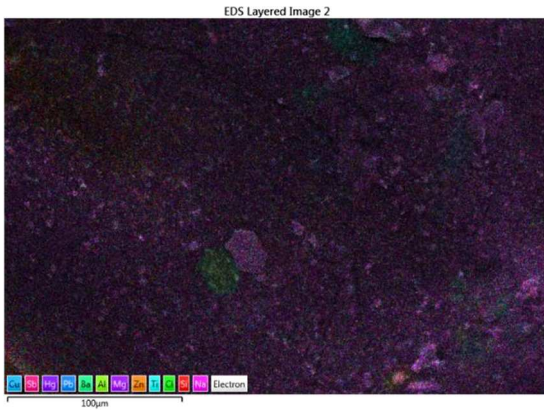


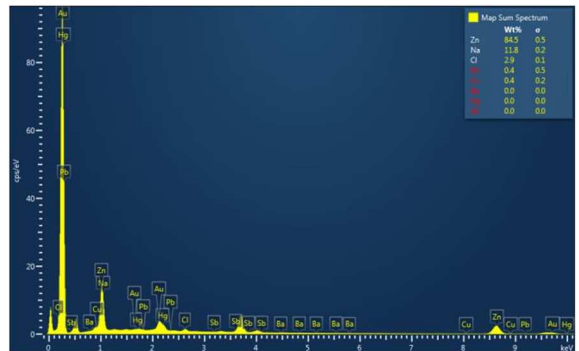
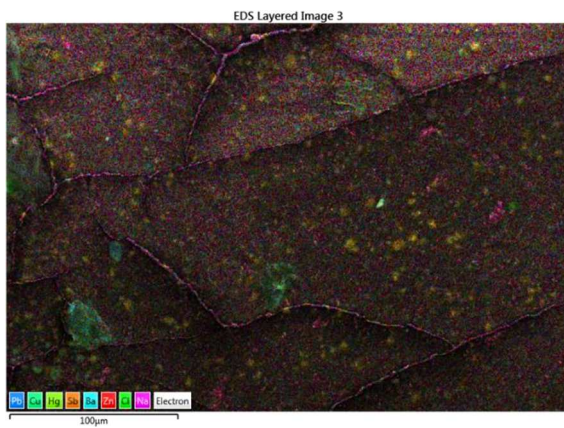
Figura 46 - Imagens de Microscopia Eletrônica de Varredura, destacando os metais presentes com cores (figuras à esquerda), e espectro de raios X por dispersão de energia (figuras à direita) de amostras coletadas da mão do atirador em diferentes posições: (A) Posição 1 (articulações interfalangeanas distais); (B) Posição 2 (articulações interfalangeanas proximais) e (C) Posição 3 (prega longitudinal radial).



(A) Posição 1



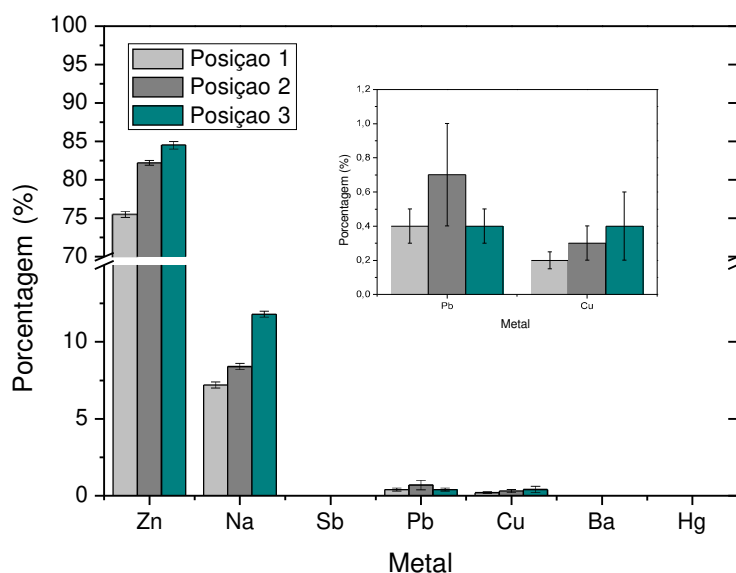
(B) Posição 2



(C) Posição 3

As partículas mais indicativas de GSR de NTA foram partículas com morfologia botroidal e composição orgânica com traços de outros elementos leves. Na associação de partículas observadas, foram também frequentes os fragmentos arredondados de cloretos de sódio (NaCl) e potássio (KCl). O principal elemento observado em todas as posições foi o zinco (Figura 45), sendo a maior porcentagem observada na posição 3 uma maior área de exposição da região da mão que envolve o armamento. Apesar da munição NTA supostamente não conter chumbo (Pb), foram observados fragmentos deste metal em todas as posições, porém não foram significativamente diferentes a quantidade com base na posição.

Figura 47 - Histograma de metais observados em amostras coletadas na Posição 1 (articulações interfalangianas distais); Posição 2 (articulações interfalangianas proximais) e Posição 3 (prega longitudinal radial) da mão do atirador.



Na posição 2 da mão foi identificado também os semimetais Si e Ti, e os metais leves Mg e Al (vide Figura 46 B). As amostras de pólvora são compostas por alumínio, silício, enxofre, potássio, cálcio, titânio, cromo, níquel, ferro, cobre e zinco, traços que podem seguramente aparecer em análise GSR para vários tipos de munição. Também é observado que a uma maior porcentagem sódio (Na) e zinco (Zn) na posição 3 da mão do atirador. Sódio proveniente do suor humano e zinco que juntamente com o cobre são elementos formadores do invólucro ou estojo.

Estes resultados podem auxiliar a identificar padrões químicos específicos para as amostras que podem contribuir à investigação criminal e ao desenvolvimento de metodologias para a determinação qualitativa e quantitativa de GSR.

Os resultados apresentados neste estudo demonstram que uma análise das condições operacionais no estande de tiro é importante para evitar uma maior exposição dos atiradores a esses metais. Isso se tornou uma grande preocupação devido aos efeitos adversos que vem causando. Além disso, deve haver uma preocupação com o tratamento para evitar riscos ambientais. No Brasil, a Portaria nº 2.309, de 28 de agosto de 2020 (Portaria nº 2.309 do Ministério Público de 2020), também trata da exposição a metais durante o trabalho.

A Diretiva (União Europeia) 2019/983 do Parlamento Europeu (Decreto-Lei nº 102-A/2020) e do Conselho de 5 de junho de 2019 preveem que os trabalhadores (por exemplo, neste ramo de trabalho, polícia) “têm o direito a um ambiente de trabalho saudável, seguro e bem adaptado”. De acordo com a citada legislação europeia, os trabalhadores têm direito a um elevado nível de proteção no que se refere à sua saúde e segurança no trabalho e a um ambiente de trabalho adaptado às suas necessidades profissionais, mas que inclua também proteção contra agentes cancerígenos e mutagênicos existentes no local de trabalho, “independentemente da duração do emprego ou da exposição. [...] Deve-se considerar também a melhoria das técnicas de medição, medidas de gerenciamento de risco e outros fatores relevantes”.

7. CONCLUSÃO

As análises realizadas no ar indicaram a presença dos seguintes elementos químicos: Cu, Pb, Sb, Zn, As, Cd e Ni, além de Mercúrio (Hg) e na mão do atirador os resultados apresentados apontam que perfis de concentração de Cobre, Zinco e Chumbo poderão balizar e revelar detalhes mais precisos sobre disparos efetuados com munição NTA. Em particular, a análise residuográfica em MEV-EDS, aponta, em detrimento de métodos clássicos que o depósito majoritário na mão do atirador é de Zinco.

Os elementos determinados no ar trazem um alerta para possíveis contaminações ambientais e a exposição dos atirados, mesmo que em curto prazo, desta gama de elementos pode acarretar em problemas de saúde. Mais estudos de emissão e exposição são necessários para avaliar a posição do atirador, postura, e a distância entre a respiração zona e pontos de emissão (ejeção porto e ponto focal) ao disparar esses dois tipos de armas de fogo.

No entanto, com os resultados já obtidos, é visível que mais controles de engenharia e gestão administrativa devem ser buscados para evitar a superexposição a esses tóxicos transportados pelo ar. Um dos pontos a ser citado é a prevenção que inclui a troca de roupa após a sessão de tiros (treinamento ou laser), modificações comportamentais, como proibição de fumar e comer em estandes de tiro, sistemas de ventilação melhorados e supervisão de estandes internos e desenvolvimento de sistemas de fluxo de ar em áreas externas. A eliminação do risco de poeira de chumbo em campos de tiro requer prevenção primária e uso *primers* sem chumbo e balas sem chumbo.

BIBLIOGRAFIA

- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM E 1588-08, Standard Guide for Gunshot Residue Analysis by Scanning Electron Microscopy/Energy Dispersive X-Ray Spectrometry (2008).
- ARAGÃO, Ranvier Feitosa. Vestígio Material e Imprecisão - Criminalística Estática, Dinâmica e Pós-moderna. IV Seminário Brasileiro de Balística Forense e Perícias de Crime Contra a Vida, Recife, PE, outubro, 2006.
- ARANHA, Adalberto José Camargo. Da prova no Processo Penal. 7ª edição. Editora Saraiva, 2006.
- ATSDR – Agency for Toxic Substances and Disease Registry (1999). Toxicological profile for Mercury. Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service.
- ATSDR – Agency for Toxic Substances and Disease Registry (2004). Toxicological profile for Copper. Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service.
- ATSDR – Agency for Toxic Substances and Disease Registry (2005). Toxicological profile for Nickel. Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service.
- ATSDR – Agency for Toxic Substances and Disease Registry (2005). Toxicological profile for Zinc. Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service. ATSDR – Agency for Toxic Substances and Disease Registry (2007). Toxicological profile for Arsenic. Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service.
- ATSDR – Agency for Toxic Substances and Disease Registry (2008). Toxicological profile for Aluminum. Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service.
- ATSDR – Agency for Toxic Substances and Disease Registry (2012). Toxicological profile for Cadmium. Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service.
- ATSDR – Agency for Toxic Substances and Disease Registry (2012). Toxicological profile for Chromium. Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service.
- ATSDR – Agency for Toxic Substances and Disease Registry (2012). Toxicological profile for Manganese. Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service.
- ATSDR – Agency for Toxic Substances and Disease Registry (2020). Toxicological profile for Lead. Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service.
- BASU, S., Formation of Gunshot Residues, *Journal of Forensic Science*, v. 27 (1), p.72-91, 1982.
- BASU, S.; Boone, C. E.; Jr, Denio, D. J.; Jr, Miazga R. A. Fundamental studies of gunshot residue deposition by glue-lift. *Journal of Forensic Sciences*, 42(4) 571-581.
- BRANCO, R. P. Química Forense – Ed. Millennium, Campinas, 2006.
- BRANCO, Regina Pestana de O. Química Forense sob Olhares eletrônicos. Campinas, SP, Millennium Editora, 2005.
- BRAZEAU J., WONG R. K. Analysis of Gunshot Residues on Human Tissues and Clothing by X-ray Microfluorescence, *Journal of Forensic Science*, v.42 (3) p.424-428, 1997.
- Briffa J, Sinagra E, Blundell R (2020) Heavy metal pollution in the environment and their toxicological effects on humans. *Heliyon*. 6(9):e04691. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04691>.
- CAMPBELL, A. K. Chemiluminescence: principles and applications in biology and medicine. Chichester:

Ellis Horwood, 1988.

- CARRERAS, L; Montes, A. L. Ejection Patterns of Shot Residues Made from 9mmParabellum Gum, 9 mm Short Gun, 38 Revolver and 7,62 Rifle, *Forensic Science International*, v. 96 (2-3), p. 143-172, 1998.
- CHARLET L, Chapron Y, Faller P, Kirsch R, Stone AT, Baveyee PC (2012) Neurodegenerative diseases and exposure to the environmental metals Mn, Pb, and Hg. *Coord. Chem. Rev.* 256:2147-2163. <https://doi.org/10.1016/j.ccr.2012.05.012>
- CHEMELLO, E., *Ciência Forense: Balística*. Revista Química Virtual. Fevereiro de 2007. Disponível em: http://www.quimica.net/emiliano/artigos/2007fev_forense3.pdf. Acesso: fevde 2008.
- CHEN M, Daroub SH, Ma LQ, Harris WG, Cao X (2002) Characterization of lead in soils of a rifle/pistol shooting range in central Florida, USA. *Soil Sediment Contam.* 11:1-17. <https://doi.org/10.1080/20025891106664>.
- CHEN M, Daroub SH, Ma LQ, Harris WG, Cao X. Characterization of lead in soils of a rifle/pistol shooting range in central Florida, USA. *Soil Sediment Contam.* 2002;11:1-7.18.
- CIBRIÁN Vidrio, Octávio, *Balística técnica y Forense*, 1ª edição, Buenos Aires, La Rocca, 2007.
- CROCE, Delton; Croce Junior, Delton. *Manual de Medicina Legal*, 2ª ed., São Paulo, Saraiva, 1995.
- DECREE-LAW No. 1/2021, of 6 January, made a third amendment to Decree-Law No. 24/2012, of 6 February amended by Decree-Law No. 88/2015, of 28 May, and No. 41/2018, of 11 June, that implemented in the Portuguese domestic legal order the Directive (European Union) 2019/1831, of the Commission, of 24 October 2019, which established a fifth list of indicative occupational exposure limit levels for chemical agents pursuant to Council Directive 98/24/EC, and thus amending European Commission Directive 2000/39/EC.
- DECREE-LAW No. 102-A/2020 of 9 December amended Decree-Law No. 301/2000, of 18 November, in the modification provided by Decree-Law No. 35/2020 of 13 July, which transposed Directives (EU) 2017/2398, 2019/130 and 2019/983.
- DECRETO nº 3.665, de 20 de novembro de 2000 (R-105). Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/d3665.htm, acessado em: 17 de agosto de 2013.
- DEL-CAMPO, Eduardo Roberto Alcântara, *Medicina Legal*, 5ª ed., São Paulo, Saraiva, 2008.
- DESGUALDO, Marco Antônio. *Reconhecimento visuográfica e a lógica na Investigação Criminal*, 2001.
- DIRECTIVE 2004/107/EC of the European Parliament and of the Council of 15 December 2004 relating to arsenic, cadmium, mercury, nickel and polycyclic aromatic hydrocarbons in ambient air (OJL 23, 26.1.2005, pp. 3-16). <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2004/107/oj>, 2004. Accessed 19 August 2021.
- DIRECTIVE 2008/50/EC of the European Parliament and of the Council of 21 May 2008 on ambient air quality and cleaner air for Europe (OJ L 152, 11.6.2008, pp. 1-44). <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2008/50/oj>, 2008. Accessed 19 August 2021.
- EEA – European Environment Agency (ed.) (2020). *Air quality in Europe — 2020 report*. EEA Report No 09/2020, Luxembourg: Publications Office of the European Union. <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2020-report>. Accessed 19 August 2021.
- ESPINDULA, Alberi. *Local de crime: isolamento e preservação, exames periciais investigação criminal*. 2.ed. Brasília:[s.n], 2003b.

ESPINDULA, Alberi. *Perícia Criminal e Cível*. 2ª. ED. CAMPINAS: MILLENNIUM, 2003A. ETC/ACM (2011) Evaluation of current limit and target values as set in the EU Air Quality DIRECTIVE, Technical Paper 2011/3, European Topic Centre on Air Pollution and Climate Change Mitigation. https://www.eionet.europa.eu/etcs/etc-atni/products/etc-atni-reports/etcacm_tp_2011_3_evaluationaq_lv_lt, 2021. Accessed 19 August 2021.

FARIAS, R. F. *Introdução à Química Forense*, Ed. Átomo. 2007.

FAYIGA AO, Saha UK (2016) Soil pollution at outdoor shooting ranges: health effects, bioavailability and best management practices. *Environ Pollut*. 216:135–145. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.05.062>.

FAYIGA AO, Saha UK. Soil pollution at outdoor shooting ranges: health effects, bioavailability and best management practices. *Environ Pollut*. 2016;216:135–45.

FERREIRA IMS, da Silva BFBL, Luna AS, Santelli RE (2021) Gunshot residue and gunshot residue-like material analysis using laser ablation inductively coupled plasma mass spectrometry imaging. *Spectrochim Acta Part B at Spectrosc* 177:e106087. <https://doi.org/10.1016/j.sab.2021.106087>

FERREYRO, Maria Fernanda, *Balística Manual*, Julio César Faira Editor, 2007, Buenos Aires.

FRANÇA, Genival Veloso de. *Medicina Legal*. 5ª edição, Rio de Janeiro, Guanabara Koogan, 1998.

FREITAS, João Carlos Dias de. *Identificação de assinaturas químicas em resíduos de disparos de arma de fogo em diferentes alvos*, Dissertação apresentada como partados requisitos para obtenção do Grau de Mestre em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear — Materiais, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

FULLER, I. F. C., *A Influência do Armamento na História*, Payot, Paris, 1948. Tradução Portuguesa para os Alunos do Instituto de Altos Estudos Militares pelo Major Loureiro dos Santos.

GAROFANO L., Capra M., Ferrari F., Bizarro G. P., Di Tullio D., Dell'Olio M., Ghitti A. Gunshot Residue- Further Studies of Environmental and Occupational Origin, *Forensic Science International*, v.103, p.1-21, 1999.

GOMES, Hélio e Hygino Hercules . *Medicina Legal*, 33ª ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 2004. 566p.

HALBERSTAM, R. C. - A Simplified Probability Equation for Gunshot Primer Residue (GSR) Detection. *J. For. Sci.* Vol. 36, Nº3, 1991, pp. 894 - 897.

HÄRNET, Luis. *Tratado de Balística*, Gustavo Gilli Editor, Barcelo, 1937.

HO I., MAT H. *Analytical Methods in Forensic Chemistry*, Ed. Ellis Horwood Limited, p.40-51, 390-404, 1990.

KOONS, R.D., Havekost, D.G., and Peters, C.A. Determination of Barium in Gunshot Residue Collection Swabs Using Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry, *Journal of Forensic Science*, v.33 (1), p.35-41, 1998.

KVITKO, Luis Alberto. *Escena del Crimen: estudio medicolegal y criminalístico*, 1ª ed. Buenos Aires, Ediciones La Rocca. 2006.

LIDLAW MA, ZAHAN S, MIELKE HW, TAYLOR MP, FILIPPELLI GM (2012) Re-suspension of lead contaminated urban soil as a dominant source of atmospheric lead in Birmingham, Chicago, Detroit and Pittsburgh, USA. *Atmos Environ*. 49:302–10. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2011.11.030>

LIDLAW MA, ZAHAN S, MIELKE HW, TAYLOR MP, FILIPPELLI GM. Re-suspension of lead

contaminated urban soil as a dominant source of atmospheric lead in Birmingham, Chicago, Detroit and Pittsburgh, USA. *Atmos Environ.* 2012;49:302–10.

LIDLAW MA, Zahran S, Pingitore N, Clague J, Devlin G, Taylor MP (2014) Identification of lead sources in residential environments: Sydney Australia. *Environ Pollut.* 184:238–246. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.09.003>

LIDLAW MA, ZAHARAN S, PINGITORE N, CLAGUE J, DEVLIN G, TAYLOR MP. Identification of lead sources in residential environments: Sydney Australia. *Environ Pollut.* 2014;184:238–46.

LIDLAW MAS, Filippelli G, Mielke H et al (2017). Lead exposure at firing ranges—a review. *Environ Health* 16, article number 34. <https://doi.org/10.1186/s12940-017-0246-0>

MAIA, Francisco Silvio. *Procedimentos Padrões em Preservação e Coleta de Dados em Locais de Crime — Tópicos de Química Forense.* Expressão Gráfica Editora, Fortaleza, 2010.

MALATESTA, Nicola Framariano Dei. *A lógica das provas em matéria criminal.* Livraria Clássica Editora, Lisboa, Portugal. 1999.

MARTINY, A., Campos A.P.C., Sader M.S., Pinto M.A.L. SEM/EDS analysis and characterization of gunshot residues from Brazilian lead-free ammunition, *Forensic Science International.* 177 (1) (2008) e9–e17.

MARTINY, A., Oliveira, A., Silva, L., *Análise de Resíduos de Tiro Oriundos de Munição sem Chumbo por MEV/EDS — Revista Perícia Federal, v.22, p.18-19, 2005.*

MASINDI V, Muedi KL (2018) Environmental contamination by heavy metals, in: *Heavy Metals, InTech.* <https://doi.org/10.5772/intechopen.76082>

MENG, H; Caddy B. *Gunshot Residues Analysis — A Review, Journal of Forensic Science, v.42 (4), p. 553-570, 1997.*

Metais Pesados: Entenda o que são, seus riscos, e como são determinados. Disponível em: atomjr.com.br.
Acessado em 07 de junho de 2021.

MEV/EDS. Disponível em <http://www.degeo.ufop.br/laboratorios/microlab/mev.htm>.
Acessado em 10 de setembro de 2013.

MIRABETE, Júlio Fabbrini. *Processo Penal.* 8.ed. São Paulo: Atlas, 1998.

MOREIRA, P. *Ensaio Residuográfico e sua Aplicação no Campo da Criminalística, Núcleo de Química—Ceap—I.C.—São Paulo, 1999.*

MUSKETT CJ, Caswell R (1980) An investigation into lead in two indoor small-bore rifle ranges. *Ann. Occup. Hyg.* 23:283-294. <https://doi.org/10.1093/annhyg/23.3.283>. National Toxicology Program — USA. https://ntp.niehs.nih.gov/ntp/ohat/lead/final/monographhealtheffects/lowlevellead_newissn_508.pdf. Accessed 30 June 2021.

NEGRINI, Oswaldo. *Os laboratórios criminalísticos na moderna investigação policial.* Disponível em: <http://www.geocities.com/CapeCanaveral/Launchpad/2909/page29.html>.

NETO, Oswaldo Negrini, *Identificação de resíduos de disparos de Armas de fogo por espectrometria de Massas com fonte de plasma indutivo.* *Revista Analytica*, nº. 15, p 42-47. março de 2005.

NUCCI, Guilherme de Souza, *CPP comentado, Ed. Revista dos Tribunais, 8ª edição revista, atualizada e ampliada, 2008.*

- OLIVEIRA, Marcelo Firmino de. A utilização da Química na pesquisa de vestígios. *Revista Química Nova na Escola* nº. 24, p 17-19, novembro 2006.
- ORDINANCE NUMBER 2,309 of the Brazilian Public Ministry of 28 August 2020 (2020). In: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-n-2.309-de-28-de-agosto-de-2020 - 275240601>. Accessed 07 September 2021.
- OWENS, A. D. - A Reevaluation of the Aerospace Corporation Final Report on Particle Analysis - When to Stop Searching for Gunshot Residue (GSR)? *J. For Sci.* Vol.35, Nº 3, 1990, pp. 698 - 705.
- PINTO, André Luiz., Martiny, Andrea. *Aplicação da Microscopia Eletrônica de Varredura à Análise de Resíduos de Tiro*, 2008.
- PLATTNER, T.; et all. Gunshot residue patterns on skin in angled contact and near contact gunshot wounds. *Forensic Science International*, 138 (2003) 68-74. Programa Nacional de Toxicologia - USA. https://ntp.niehs.nih.gov/ntp/ohat/lead/final/monographhealtheffectslowlevellead_newissn_508.pdf. Acessado em junho de 2021
- PUC. Espectrometria de massas com plasma indutivamente acoplado (ICP-MS). Disponível em: http://www.maxwell.lambda.ele.puc-rio.br/12188/12188_5.PDF. Acesso: 12 de Dez, 2013.
- RABELLO, Eraldo. *Balística Forense*, 3ª Ed. Poro Alegre, Sagra Luzzatto, 1995. RABELLO, Eraldo. *Curso de Criminalística*. Porto Alegre, Sagra Luzzatto, 1996.
- REIS, E. L. T. dos; Sarkis J. E. de S.; Rodrigues C.; Neto O. N.; Viebig S. Identificação de Resíduos de Disparos de Armas de Fogo por meio da Técnica de Espectrometria de Massas com Fonte de Plasma Indutivo. *Química Nova* 2004; 27(3): 409-413.
- ROMOLO, F. S. and Margot P., Identification of gunshot residue: a critical review, *Forensic Science International*, v.119, p.195-211, 2001.
- SANTOS, F. H. Colheita de Resíduos de Disparo de Armas de Fogo e Análise Por Microscopia Eletrônica de Varrimento. *O Perito, Tecnologias e Polícia*, Ano I; Nº 1, 1995, pp. 3.
- SEMLALI RM, Dessogne JB, Monna F, Bolte J, Azimi S, Navarro N, Denaix L, Loubet M, Chateau C, Van Oort F (2004) Modeling lead input and output in soils using lead isotopic geochemistry. *Environ. Sci. Technol.* 38:1513–1521. <https://doi.org/10.1021/es0341384>
- SEMLALI RM, DESSOGNE JB, MONNA F, BOLTE J, AZIMI S, NAVARRO N, DENAIX L, LOUBET M, CHATEAU C, VAN OORT F. Modeling lead input and output in soils using lead isotopic geochemistry. *Environ Sci Technol.* 2004;38:1513–21.
- SENASP. Secretaria Nacional de Segurança Pública. Identificação de armas de fogo. Ensino a Distância, Brasília – DF. 2012
- SIMONIN, C. *Medicina Legal Judicial*. Trad. da 3ª edição francesa por G. L. S. Maldonado. Barcelona: Editora Jims, 1996.
- SINGER, R.L., Davis, D., and Houck, M.M. A Survey of Gunshot Residue Analysis Methods, *Journal of Forensic Science*, v.41 (2), p.195-198, 1996.
- SSP-BA. *Técnicas Analíticas do Laboratório Central de Polícia Técnica*. Salvador: Secretaria de Segurança Pública, Departamento de Polícia Técnica da Bahia, Laboratório Central de Polícia Técnica, 2001. 376p.
- STUMVOLL, Victor Paulo. *Criminalista*. Campinas, São Paulo, Millennium Editora, 2010. TAURUS. *Pistola*

- Taurus PT 57 e suas variações. <http://armasonline.org/armas-on-line/novo - a-pistola-taurus-pt-57/>. Acesso em 27 de jul de 2014.
- TEIXEIRA, Adenilton Luiz, Da prova no Processo Penal, Editora Forense, Rio de Janeiro,1998.
- TOCHETTO, Domingos. Armas Taurus: Uma garantia de segurança. 5ª ed. Campinas, SP.Millennium Editora, 2013.
- TOCHETTO, Domingos. Balística Forense, Ed. Millenniun, Campinas, 2003.
- TOCHETTO, Domingos. Balística Forense. Aspectos Técnicos e Jurídicos. 11ª ed. Campinas, SP. Millennium Editora, 2021.
- TOCHETTO, Domingos. I Seminário de Balística Forense Identificação dos Resíduos deTiros. Rio de Janeiro: IME, 2004.
- TOCHETTO, Domingos. Tratado de perícias criminalística. Campinas: Millennium, 2003. Vandebroek E, Haufroid V, Smolders E, Hons L, Nemery B (2019) Occupational Exposure to Metals in Shooting Ranges: A Biomonitoring Study. Saf Health Work. 10:87-94. <https://doi.org/10.1016/j.shaw.2018.05.006>
- WALLACE, J. S., Discharge Residues from Cartridge - operated Industrial Tools. J. For., Sci Soc. 1984; 24: 495 - 508.
- WANG J, Li H, Bezerra MLS (2017) Assessment of shooter's task-based exposure to airborne lead and acidic gas at indoor and outdoor ranges. Division of Chemical Health and Safety of the American Chemical Society. Published by Elsevier Inc. 1871-5532.
- WANG, J., LI, H. BEZERRA, M.L.S. Assessment of shooter's task-based exposure to airborne lead and acidic gas at indoor and outdoor ranges. Division of Chemical Health and Safety of the American Chemical Society. Published by Elsevier Inc. 2017: 1871- 5532.
- WHO. (2000) Air quality guidelines for Europe, 2nd ed. Copenhagen, WHO Regional Office for Europe (WHO Regional Publications, European Series, No. 91). <http://www.euro.who.int/document/e71922.pdf>. Accessed 19 August 2021.
- WOLTEN, G.M., Nesbitt, R.S., On the mechanism of gunshot residue particle formation, Journal of Forensic Science, 25 (3) (1980) 533–545.
- ZAJACZKOWSKI, Raúl Enrique. Manual de Criminalística. Ediciones Ciudad Argentina, Buenos Aires, 1998
- ZARZUELA, J. L.; Aragão, R. F. Tratado de Perícias Criminalísticas - Química Legal e Incêndios. 1 ed. Porto Alegre: Sagra Luzzato, 1999. 467p.
- ZEICHNER A, Levin N, Springer E. Gunshot Residue Particles Formed by using Different Types of Ammunition in the Same Firearm. Journal of Forensic Sciences 1991; 36(4): 1020-1026.
- ZEICHNER A., LEVIN N. Collection Efficiency of Gunshot residue (GSR) Particles from Hair and Hands Using Double-Side Adhesive Tape, Journal of Forensic Science, v.38 (3), p.571-584, 1993.
- ZEICHNER, A., Recents Developments in Methods of Chemical Analysis in Investigation ofFirearm - related events – Anal Bioanal Chem, v.376, p.1178-1191.

GLOSSÁRIO

Ação Dupla: Mecanismo que faz com que a arma seja disparada sem ser necessário engatilhar o cão antecipadamente.

Ação Simples: Mecanismo de funcionamento onde o cão deve ser engatilhado antes que o primeiro tiro seja efetuado. Caracteriza-se por requerer o engatilhamento manual da arma por meio do recuo do cão até a posição de armado.

ACP: Abreviatura de Automatic Colt Pistol.

Alça de Mira: Dispositivo situado na parte posterior de uma arma destinado a permitir a visada ou pontaria a um alvo pré-determinado. É fixa, quando não pode ser deslocada horizontal ou verticalmente, ou regulável, quando pode ser deslocada horizontal ou verticalmente.

Alcance Máximo: Distância maior que um determinado projétil pode alcançar ou em que perde sua energia cinética. O alcance máximo depende das características balísticas de cada cartucho, do comprimento do cano da arma e do ângulo em que o disparo foi efetuado.

Alcance Útil: É aquele em que realmente se utiliza a arma, aproveitando a primeira parte da trajetória da “bala”, onde apresenta melhores qualidades balísticas, ou seja, tensão na trajetória, menor dispersão. É a distância máxima em que o projétil causará ferimentos de certa gravidade a um homem, ou em que ainda possuirá uma energia equivalente a 13,6 Kgm, ou ainda, a distância em que um projétil ainda pode ter eficácia.

Alimentar a arma: É a colocação do carregador municiado na arma, ou do cartucho diretamente em alojamento apropriado da arma sem, contudo, carregá-la.

Alinhamento: Linha de visada entre a alça, massa de mira e o alvo.

Alma: Face interna do cano de uma arma. A alma pode ser lisa quando a superfície em questão é absolutamente polida, como por exemplo, no caso dos canos das espingardas que calçam cartuchos com múltiplos projéteis de chumbo; a alma é raiada quando a superfície em referência possui sulcos helicoidais, dispostos no eixo longitudinal, destinados a forçar o projétil a um movimento de rotação.

Anodização: Acabamento feito por banho eletrolítico em ligas leves de metais.

Antecarga: Diz-se da arma que se carrega pela boca do cano.

Arma: Todo instrumento, máquina ou meio utilizado pelo homem para ofender ou defender-se.

Arma Automática: arma capaz de disparar todo o conteúdo do carregador com um só acionamento do gatilho, bastando que este continue pressionado até o fim da munição. Aproveitando a expansão dos gases após o disparo —, realizam disparos contínuos enquanto o gatilho continuar pressionado (rajada).

Arma de fogo: Armas que arremessam projéteis empregando a força expansiva dos gases gerados pela combustão de um propelente confinado em uma câmara que, normalmente, está solidária a um cano que tem a função de propiciar continuidade à combustão do propelente, além de direção e estabilidade ao projétil.

Arma de porte: Arma de fogo de dimensões e peso reduzidos, que pode ser portada por um indivíduo em um coldre e disparada, comodamente, com somente uma das mãos pelo atirador; enquadram-se, nesta definição, pistolas, revólveres e garruchas

Arma de uso permitido: Arma cuja utilização é permitida a pessoas físicas em geral, bem como a pessoas jurídicas, de acordo com a legislação normativa do Exército.

Arma de uso restrito: Arma que só pode ser utilizada pelas Forças Armadas, por algumas instituições de segurança e por pessoas físicas e jurídicas habilitadas, devidamente autorizadas pelo Exército, de acordo com legislação específica.

Arma semi-automática: São as que recarregam automaticamente, aproveitando a expansão dos gases após o disparo para realizar todo o ciclo de destravar o ferrolho, extrair o estojo, recarregar a arma e travar novamente o ferrolho, deixando o fuzil pronto para um novo disparo.

Arma não-portátil: Arma que, devido às suas dimensões ou ao seu peso, não pode ser transportada por um único homem. Os exemplos mais comuns são as peças de artilharia, exemplo: canhões.

Arma portátil: Arma cujo peso e cujas dimensões permitem que seja transportada por um único homem, mas não conduzida em um coldre, exigindo, em situações normais, ambas as mãos para a realização eficiente do disparo. Como exemplo tem-se as espingardas, carabinas, fuzis, entre outras, que apresentam a característica de uso individual.

Bala: Termo vulgar utilizado no cotidiano como sinônimo de cartucho, munição ou até de projétil.

Baletão: Termo já consagrado para cartucho de caça com projétil único. Equivale ao termo em inglês "slug", ou ainda, balote, hélice e bala ideal.

Balística Externa: Estuda o movimento dos projéteis no ar desde o momento em que ele abandona a boca do cano da arma até o primeiro impacto. Por conseguinte, estuda a influência, nessa trajetória, do ângulo, da velocidade de saída, da resistência do ar, da força de gravidade, da velocidade e sentido do vento, entre outros fatores.

Balística Forense: É a parte da balística de interesse da justiça. O professor Eraldo Rabello a define como: "[...] aquela parte do conhecimento criminalístico e médico-legal que tem por objeto especial o estudo das armas de fogo, das munições e dos fenômenos e efeitos dos tiros dessas armas, no interesse da justiça, tanto penal como civil".

Balística Interior: Estuda o que ocorre desde o momento do disparo até o instante em que o projétil abandona a arma. É a parte da balística relativa à estrutura, mecanismo e funcionamento das armas, da carga de projeção e dos fenômenos que ocorrem no processo da propulsão dos projéteis. Compreende, portanto, o estudo das armas e munições até o momento em que o projétil é expelido através do cano.

Balística Terminal: Estuda o movimento do projétil desde o primeiro impacto até a dissipação total de sua energia cinética, ou seja, até o seu repouso final. Estuda, por conseguinte, os efeitos dos impactos dos projéteis no alvo (ricochetes, as lesões e as características deixadas nos suportes pelos impactos dos projéteis). A balística das lesões é um ramo da balística terminal que estuda os efeitos dos projéteis em tecidos vivos.

Balística: Por definição clássica, é a parte da física que estuda o impulso, movimento e impacto dos projéteis, entendendo-se por projétil qualquer sólido que se move no espaço após haver recebido um impulso.

Bombarda: Primitivo disparador de projéteis pesados que surgiu no século XIV, logo após a descoberta da pólvora pelos europeus, com bico pouco comprido

Calibre: É a medida do diâmetro entre os fundos do raiamento do cano de uma arma (diâmetro do projétil) ou o diâmetro medido entre cheios, isto é, medido diretamente na boca do cano desconsiderando-se a profundidade do raiamento (calibre real). Algumas vezes o calibre pode ser expresso em milímetros e outras vezes em centésimos de polegadas. Exemplo: 7,62 mm, que corresponde exatamente ao .30.

Calibre Nominal: Usado para designar um tipo particular de munição e também é utilizado nas armas nas quais esse tipo de munição é empregado, o calibre nominal, de forma diferente do calibre real, não se refere apenas ao diâmetro do projétil; apresenta também uma série de outras informações, como o comprimento do estojo e a forma de travamento desse estojo na câmara.

Calibre Real: Grandeza medida na boca do cano da arma e corresponde ao diâmetro interno entre os cheios diametralmente opostos (*land diameter*).

Câmara: Parte posterior do cano que recebe o cartucho completo e que o mantém firme durante o disparo.

Carabina: Arma de fogo mais curta que a espingarda, tendo entre 1,0 e 1,2 metro de comprimento muito usada em caça e tiro desportivo podendo ser de diversos calibres.

Carregador: O carregador tem por função acondicionar a munição. Normalmente, os carregadores são produzidos em chapas de aço e apresentam o formato de caixa, apresentando a munição disposta em uma fila (unifilar) ou em duas filas (bifilar). O carregador geralmente é composto pelo corpo, mesa transportadora, mola e base

Carregar: É a colocação do cartucho diretamente na câmara da arma, deixando a arma pronta para o disparo.

Cartucho: Termo corretamente utilizado para designar o conjunto estojo / pólvora / projétil / espoleta. Pode ser utilizado para identificar projéteis únicos ou múltiplos.

CBC: Companhia Brasileira de Cartuchos, fábrica brasileira de munições e armas que detém praticamente o monopólio da produção de munições no Brasil. Sua composição social é do tipo Economia Mista, isto é, possui cotas estatais (não majoritárias).

Choque (*choke*): É um estreitamento da alma do cano, junto de sua boca, com a finalidade de produzir melhor agrupamento dos chumbos (balins), visando a obtenção de maior alcance e precisão do tiro.

Coronha: Peça de apoio ligada à caixa da culatra e mecanismos de armas longas, geralmente feitas em madeira.

Culatra: Bloco de aço móvel que fecha a parte traseira do cano de uma arma de fogo.

Culote: Porção traseira do estojo de um cartucho onde estão localizadas a canaleta de extração e a espoleta. Na base do culote são normalmente encontradas letras, números e símbolos que identificam calibre, fabricante, validade, etc.

Engatilhar: Armar o cão ou o mecanismo de disparo de uma arma.

Escopeta: Termo em castelhano para designar espingarda.

Estojo: Cápsula onde estão inseridos: espoleta com mistura iniciadora, pólvora e parte do projétil para formação do cartucho.

Espingarda: Pela definição da legislação específica, é uma “arma de fogo portátil, de cano longo com alma lisa, isto é, não raiada”. As espingardas são armas de fogo com empregos que variam desde a prática desportiva até a utilização em combate.

Espoleta: Também conhecida como espoleta iniciadora é um pequeno copo metálico, onde se localiza a substância química (mistura iniciadora) responsável pela geração da chama inicial (quando percutida) e consequente combustão de propelente no interior do estojo. As mais comuns em armas portáteis são as do tipo berdan e boxer.

Estande ou Carreira de Tiro: Local utilizado para treinamentos de policiais, profissionais de segurança e pessoas credenciadas e autorizadas à utilizar armas de fogo em treinamentos de tiro.

Extrator: Peça metálica com uma espécie de garra em sua extremidade anterior destinada a retirar o estojo da câmara.

Ferrolho: É uma peça móvel que realiza deslocamentos no sentido do eixo longitudinal da arma, em canaletas ou guias próprias para isso, promovendo a ação de retirar o estojo deflagrado e carregar um novo cartucho.

Fogo central: A mistura detonante está disposta em uma espoleta, fixada no centro da base do estojo. Caracteriza a espoleta fogo central

Fogo circular: A mistura detonante é colocada no interior do estojo, dentro do aro, e detona quando este é amassado pelo percussor. Caracteriza a espoleta fogo circular.

Forense: A palavra “forense” advém do adjetivo latino *forenses*, que significa “relativo ao fórum”

Fuzil: Designação usada para armas de fogo portátil, de cano longo, podendo ser de repetição, semi-automáticos ou totalmente automáticos.

Grain: Unidade de peso no sistema norte-americano equivalente a 0,0648 de uma grama. 7.000 grains equivale a 1 libra.

Guarda-Mato: Proteção metálica ou de plástico, de forma recurva, que envolve o gatilho das armas portáteis. O guarda-mato de algumas pistolas modernas tem uma concavidade anterior para permitir melhor posicionamento da segunda mão no ato do tiro.

Impacto: Energia transmitida por um projétil ao chocar-se com determinado alvo.

Identificação Direta ou imediata: Quando se está diante do próprio objeto, ser ou coisa em geral a ser identificada, ou seja, quando pelo exame do conjunto de características que lhe são próprias e exclusivas, estabelece-se a sua identidade.

Identificação Indireta ou mediata: Quando ela se processa por meio indireto, quando se utiliza de objeto ou coisa intermediária que permita a identificação, ou seja, quando a identificação ocorre através do estudo comparativo dos vestígios materiais encontrados em uma cena de crime com padrões obtidos de objetos ou pessoas suspeitas de terem produzido esses vestígios.

Imbel: Indústria de Material Bélico do Brasil, Empresa Pública brasileira, autorizada a sua criação pela Lei nº 6.227, de 14 de julho de 1975, vinculada ao Ministério da Defesa (por intermédio do Exército Brasileiro).

Kevlar: Material sintético utilizado para fabricar coletes a prova de balas, blindagens e capacetes.

Magnum: Indica carga mais forte num determinado cartucho, utilizado também em armas especiais.

Massa de Mira: Parte do aparelho de pontaria de uma arma, que é normalmente montada próxima à extremidade anterior do cano.

Metralhadora: É uma arma de fogo automática projetada para disparar tiros sucessivos rapidamente a partir de um cinto de munição, que são vários cartuchos presos entre si, ou de um carregador. Geralmente, a taxa de tiros é de centenas por minuto.

Microcomparação Balística ou Exame de Confronto Balístico: É uma identificação mediata de armas de fogo, ou seja, permite determinar a identidade por meio do estudo comparativo dos vestígios materiais (marcas, ranhuras, etc.) deixados por essas armas nos elementos de sua munição.

Municiar: É o ato de colocar cartuchos no carregador de uma arma.

Numeração Serial: O número de série é o principal elemento, é a chave para identificar o comprador e o movimento da arma em termos de rastreamento. É constituído por dígitos formados apenas por algarismos ou por dígitos compostos de algarismos e letras. Demonstra a data de produção (mês e ano), calibre, modelo, entre outras informações.

PAF: Projeteis de arma de fogo, termo normalmente relacionado as lesões provocadas pelo impacto destes.

Parabellum: Denominação dada à pistola Luger. Deriva do endereço telegráfico da fábrica DWM. O termo tem sua origem na frase latina *si vis pacem, para bellum*, que quer dizer “se desejas a paz, prepara-te para a guerra”.

Percussão Direta: O percussor é parte integrante do cão, podendo ser um prolongamento do cão (fixo), ou estar afixado por um pino (oscilante);

Percussão indireta: O percussor se encontra em espaço próprio, na armação, e recebe o impacto do cão de forma indireta. Esse tipo de percussão passou a ser adotado por inúmeros fabricantes.

Pistola: Arma de fogo portátil, leve, de cano curto, elaborada para ser manejada com uma só mão. Uma pistola geralmente é uma arma pequena de boa empunhadura e rápido manuseio, feita originalmente para uso pessoal em ações de pequeno alcance.

Pólvora: Material que ao queimar, libera os gases para propulsão do projétil.

Pólvora de base dupla: Apresenta como principais compostos ativos a nitrocelulose e nitroglicerina, além de componentes químicos para sua estabilidade e controle de velocidade de deflagração.

Pólvora de base simples: Constituída basicamente por nitrocelulose e componentes químicos para sua estabilidade e controle de velocidade de deflagração.

Postos de Tiro: Divisão física, disponibilizada em paralelo, capaz de ocupar um atirador por vez, quando da execução de tiro nos estandes de tiro.

Primer (mistura iniciadora): Mistura química que vai dar o início da queima da pólvora. A mistura iniciadora de uma espoleta para cartucho é composta de materiais diversos, com as funções específicas de: um explosivo iniciador; materiais oxidantes; materiais redutores; atritante; aglomerante.

Projétil: Elemento vulnerante da munição; parte do cartucho que é projetada.

Projéteis encamisados: São projéteis construídos por um núcleo recoberto por uma capa externa chamada camisa ou jaqueta, que é normalmente fabricada com ligas metálicas como: cobre e níquel; cobre, níquel e zinco; cobre e zinco; cobre, zinco e estanho ou aço. O núcleo é constituído geralmente de chumbo praticamente puro, conferindo o peso necessário e um bom desempenho balístico.

Propelente: Substâncias que queimam de forma progressiva. Pela característica de queimar progressivamente, as pólvoras são chamadas de propelentes.

Provete: Equipamento para disparo de munição, com o fim de medir a pressão gerada pelos gases resultantes da queima da pólvora.

Retrocarga: Sistema de carregamento de armas de fogo pela culatra, no caso dos revólveres é realizada pelo tambor, e nas pistolas pelo carregador.

Raias: São sulcos helicoidais e paralelos produzidos por brocas especiais, de forma que, com a passagem forçada do projétil através do cano, ele acompanha esses sulcos e adquire o movimento de rotação que lhe garante maior estabilidade, precisão e alcance.

Revólver: O revólver, pela definição encontrada no, é uma arma de fogo de porte, de repetição, dotada de um cilindro giratório (tambor) posicionado atrás do cano, que serve de carregador, o qual contém perfurações paralelas e equidistantes do seu eixo e que recebem a munição, servindo de câmara.

S&W: A marca de armas mais conhecida do mundo, a SMITH & WESSON, foi fundada por Horace Smith, um fabricante de ferramentas, e Daniel Baird Wesson, um armeiro, em 1852 na cidade de Norwich, estado americano de Connecticut.

Taurus: localizada no Estado do Rio Grande do Sul, é maior fabricante de armas curtas do mundo. Produz, carabinas, pistolas, revolveres, espingardas, metralhadoras, sub-metralhadoras, pistolas de ar comprimido de uso para polícia, civil, forças armadas, atiradores, magistrados.

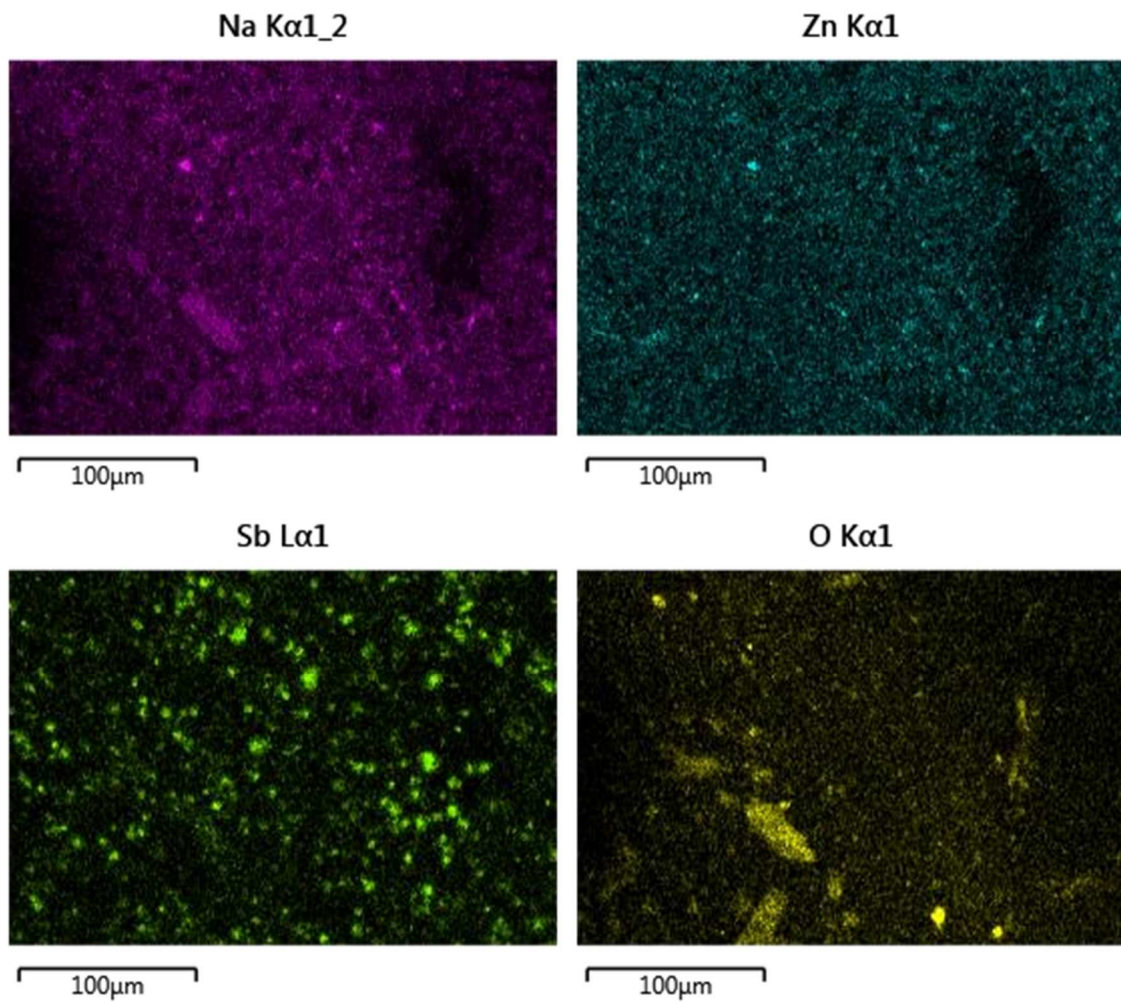
Velocidade Prática de Tiro: É o máximo de disparos que pode ser feito por uma determinada arma, em 1 minuto, levando-se em consideração o tempo gasto para a feitura da pontaria, ou seja, tudo aquilo que se faz realmente quando se utiliza a arma.

Velocidade Teórica de Tiro: É o número de disparos ou tiros que pode ser feito por uma arma, em 1 minuto, não levando em consideração o tempo gasto na alimentação, na resolução de incidentes de tiro, ou seja, supõe-se que a arma é dotada de um carregador de capacidade infinita, bem como, que não haja incidente de tiro, não sendo feita pontaria.

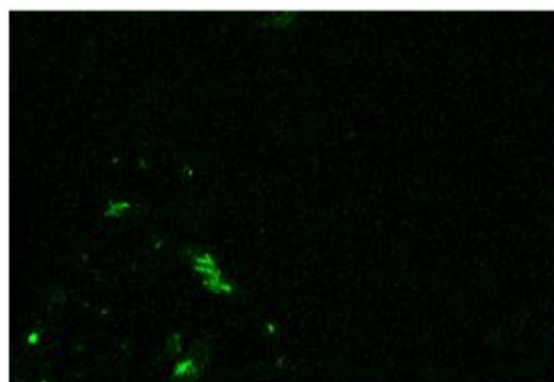
APÊNDICE

Micrografias obtidos pelas análises de Microscopia Eletrônica de Varredura e Espectroscopia de Raios-X de Dispersão de Energia

Figura S1: Amostra da posição 1 da mão do atirador.

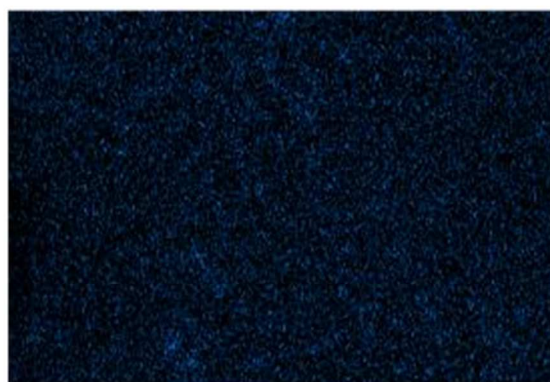


Cl K α 1



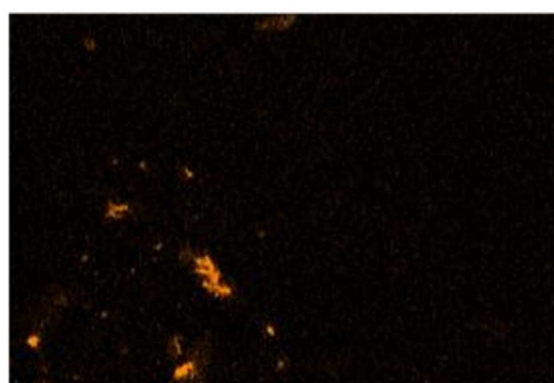
100 μ m

Pb M α 1



100 μ m

K K α 1



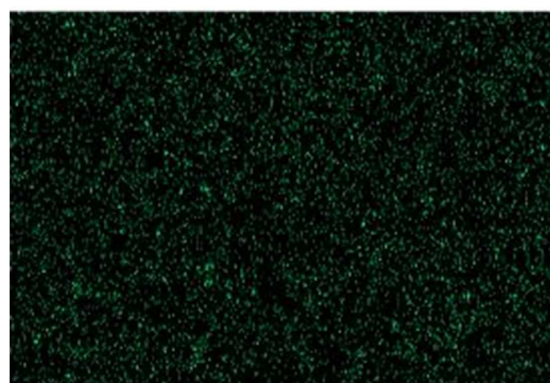
100 μ m

Ba L α 1



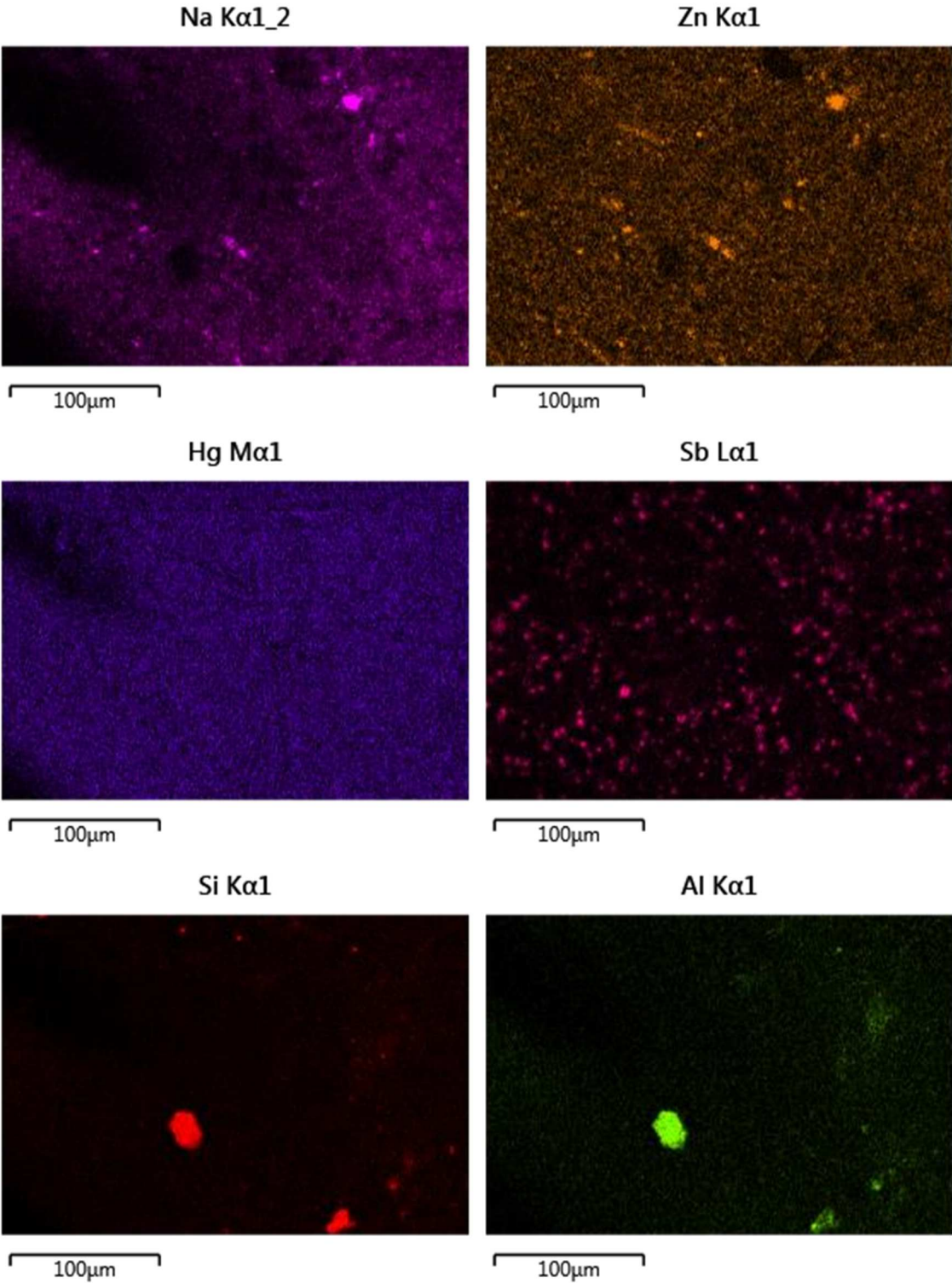
100 μ m

Cu K α 1

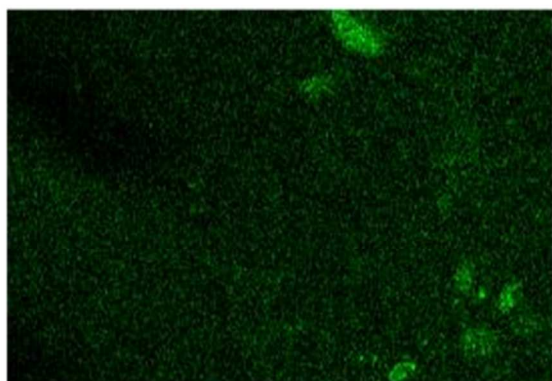


100 μ m

Figura S2: Amostra da posição 2 da mão do atirador.



Cl K α 1



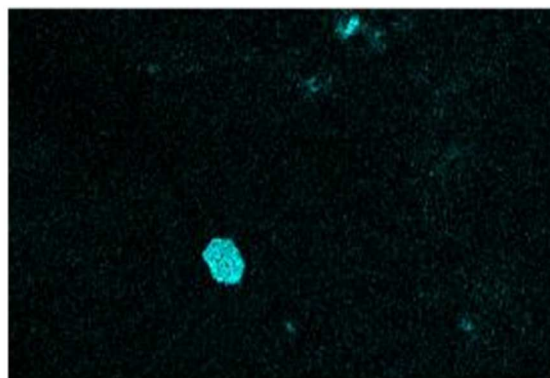
Pb M α 1



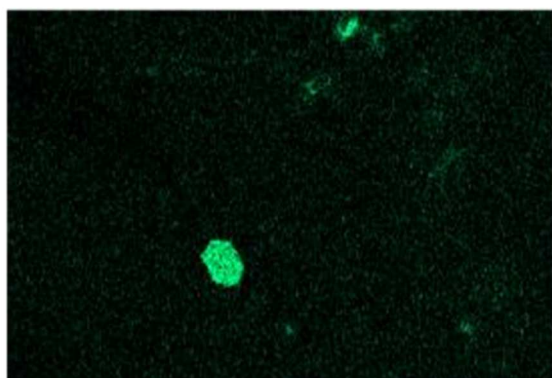
Mg K α 1_2



Ti K α 1



Ba L α 1



Cu K α 1

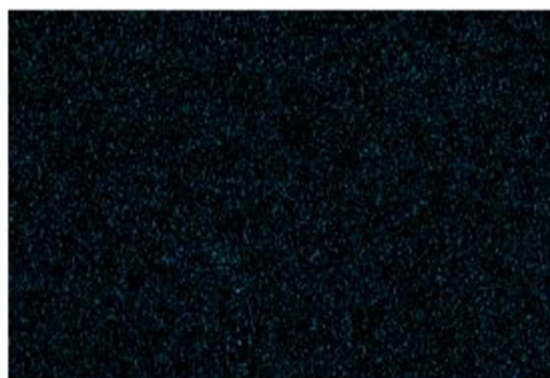
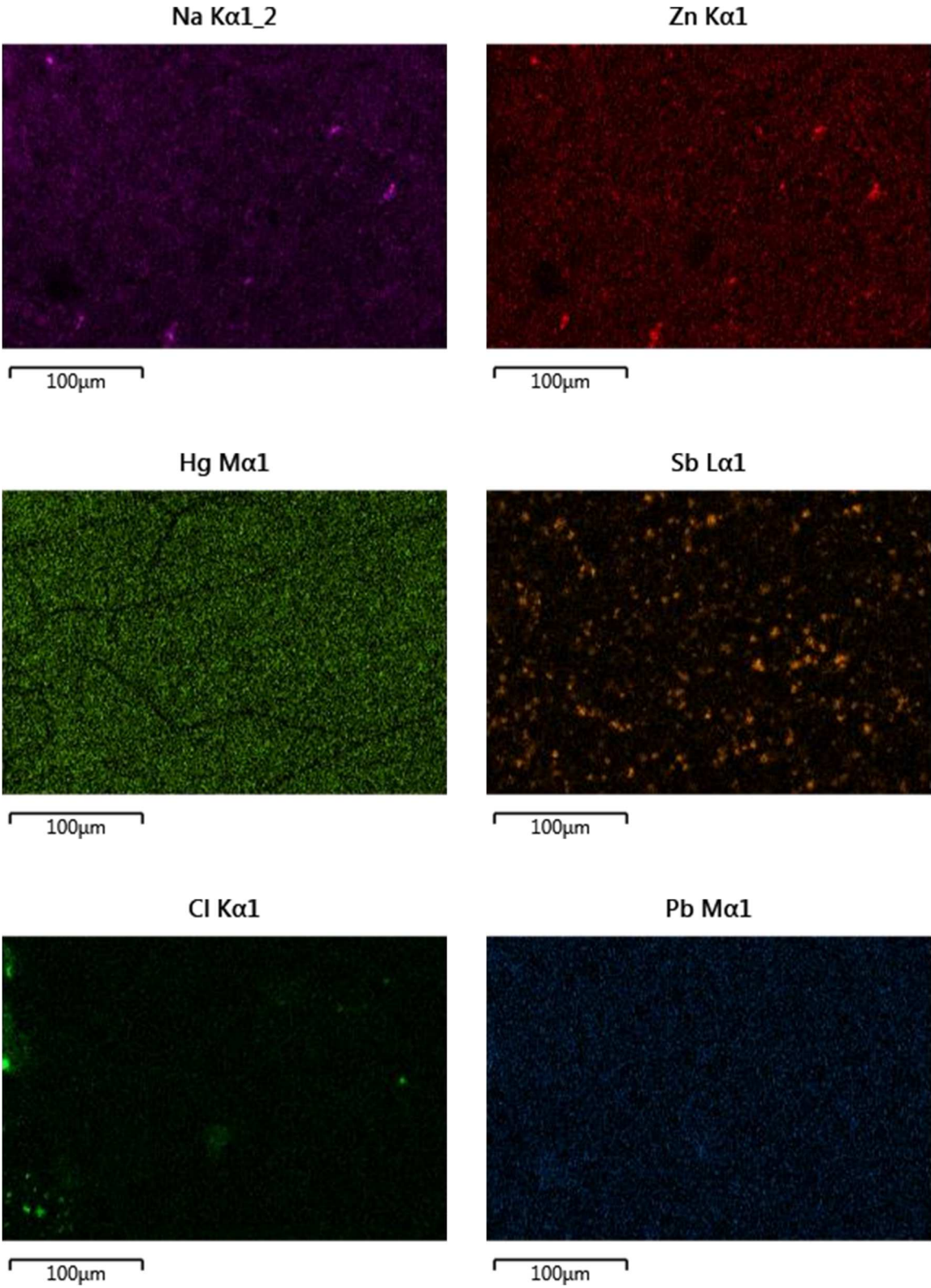
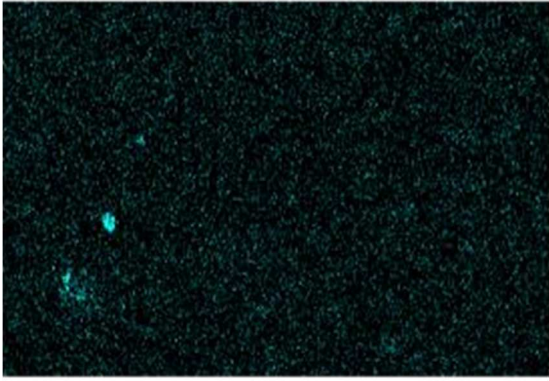


Figura S3: Amostra da posição 3 da mão do atirador.

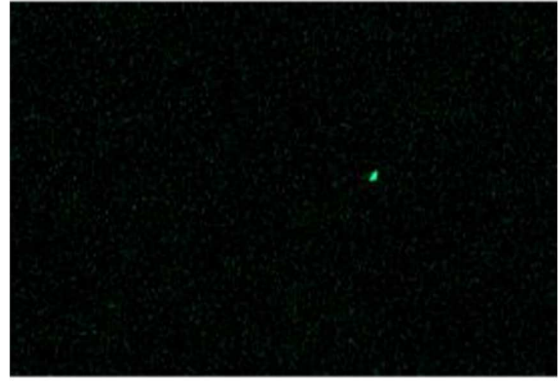


Ba L α 1



100 μ m

Cu K α 1



100 μ m

