

Caracterização físico-química e avaliação de sistemas de proteção contra corrosão de projéteis deflagrados por armas de fogo

E.G.V. Santos^a, F.A.C. Andrade^a, L.E.C. Dantas^a, T.B. Ribeiro^a, A.M. Claro^b, H.S. Barud^b,
A.V. Benedetti^c, C.S. Fugivara^c

^a Instituto de Criminalística, Superintendência da Polícia Técnico Científica, Campinas (SP), Brasil

^b Universidade de Araraquara, Araraquara (SP), Brasil

^c Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Química, Araraquara (SP), Brasil

*Endereço de e-mail para correspondência: edugvs09@gmail.com. Tel.: +55-19-981131925

Recebido em 05/05/2023; Revisado em 29/04/2024; Aceito em 06/05/2024

Resumo

Nos laboratórios de balística, observa-se frequentemente que projéteis de armas de fogo têm sua integridade comprometida de forma irreversível, dificultando ou impedindo a realização dos exames de confronto balístico. A literatura científica que aborda as diferentes formas de proteção e armazenamento desses projéteis é escassa e de difícil acesso por se tratar, muitas vezes, de procedimentos não publicados. No presente trabalho, realizou-se a caracterização de três diferentes tipos de projéteis deflagrados por armas de fogo raiadas por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), Espectrometria de Raios-X com Dispersão de Energia (EDX) e Difractometria de Raios-X (DRX) e analisou-se o efeito do recobrimento de tais projéteis com lubrificante anticorrosivo (WD) e parafina (PA) no aumento da resistência à oxidação/corrosão e na preservação dos elementos identificadores desses projéteis. A análise de corrosão foi feita pela comparação dos estriamentos antes e depois do revestimento dos projéteis submetidos a um ensaio de corrosão forçada. Os resultados obtidos sugerem que o recobrimento com parafina se mantém por mais tempo comparado à camada por WD, sendo ambos os recobrimentos alternativos eficazes, com metodologia simples e de baixo custo para preservação de projéteis deflagrados por armas de fogo por período superior a 33 dias.

Palavras-Chave: Projéteis; Microestriamentos; Raiamento de Arma de Fogo; Proteção, Corrosão.

Abstract

It is commonly observed in ballistics testing laboratories that the integrity of firearm projectiles to be analyzed is irreversibly damaged, which makes the bullet comparison tests difficult or even unachievable. The scientific literature on different forms of bullets protection against corrosion and storage is in general scarce and difficult to access because those procedures are not published in literature. In the present work, three different types of projectiles expelled from firearms with rifled barrels were characterized by Scanning Electron Microscopy (SEM), Energy Dispersive X-ray Spectrometry (EDX) and X-Ray Diffraction (XRD), and it was analyzed the effect of coating such projectiles with anticorrosive lubricant (WD) and paraffin (PA) in increasing resistance to oxidation/corrosion and in preserving the bullets fingerprints. The corrosion analysis was carried out by comparing the rifling marks before and after the projectiles coating by submitting them to a forced oxidation testing. The results obtained so far suggest that paraffin coating remains for more time compared to the WD coating. Nevertheless, both materials require a simplified low-cost methodology for preserving projectiles expelled from firearms for more than 33 days.

Keywords: Bullets; Microstriae; Rifling Marks; Protection, Corrosion.

1. INTRODUÇÃO

Os cartuchos de armas de fogo (AF) são compostos, basicamente, pelos seguintes elementos de munição: estojo, espoleta com mistura iniciadora, pólvora e projétil. Os elementos de munição que compõem os cartuchos podem se diferenciar química e/ou fisicamente entre si de

acordo com cada fabricante, lote, tipo, desenho, dentre outras. Essas diferenças introduzem variáveis dentro do espectro da comparação balística que podem influenciar a análise pericial. Neste sentido, minimizar as variáveis é um desafio para o Perito Criminal que realiza exames de confronto balístico [1,2].

O exame de microcomparação balística consiste na identificação de características individuais de uma arma de fogo por meio de marcas impressas nos projéteis ou estojos por ela produzidos no momento do tiro. No caso de projéteis, essas marcas são chamadas de ressaltos e cavados, os quais ficam impressos na superfície quando atravessam o raiamento do cano das armas [3].

Essas características individuais são produzidas pelas imperfeições ou irregularidades aleatórias das superfícies das ferramentas utilizadas na fabricação da arma de fogo. Essas marcas são exclusivas de cada arma e não são pretendidas pelo fabricante, sendo resultantes da interação entre partes da arma e a superfície do elemento de munição [4]. Na superfície do elemento do tipo projétil tais interações produzem estrias (lineares) microscópicas sem profundidade na superfície do projétil (chamadas de microestriamentos) e estrias microscópicas com relevo/profundidade na superfície do projétil (chamadas de macroestriamento).

Vários são os fatores que podem interferir na análise desses microelementos, desde a carga de propelente presente na munição até sua composição química [5]. O projétil, que é o foco deste estudo, tem uma gama variada de composição química. Projéteis de chumbo podem ser puros ou apresentar algum elemento endurecedor, como o antimônio, ou ainda, estanho ou arsênio. Nos projéteis encamisados, a parte interna (conhecida também como núcleo do projétil) é composta por chumbo e a parte externa por ligas metálicas tais como i) cobre e zinco (latão), ii) cobre e níquel, iii) cobre, zinco e níquel, iv) zinco e estanho e v) aço (liga ferro-carbono) [3].

A preservação das características físicas, químicas e morfológicas de projéteis recém-disparados por AF tem suma importância no processo investigatório criminal de identificação da arma que o disparou [6-10]. Alguns fatores, no entanto, podem dificultar a confrontação balística ou até mesmo trazer resultados inconclusivos. Dentre os principais interferentes, podemos citar a natureza do alvo atingido, se o projétil atravessou tecidos biológicos ou sofreu embates, procedimentos inadequados de coleta e armazenamento do projétil inserido na cadeia de custódia e o lapso temporal entre o disparo do projétil e a requisição de exame pela autoridade policial [10-12].

Particularmente, circunstâncias associadas ao contato de projéteis com meios biológicos, manipulação e acondicionamento dos projéteis recolhidos em cenas de crime sem os devidos cuidados e/ou decurso de longos períodos até a realização de confronto balístico podem contribuir para a oxidação/degradação de sua superfície [6,7]. Com isso, nos exames de confronto, observa-se frequentemente que projéteis de AF têm sua integridade comprometida de forma irreversível, dificultando a realização dos exames de confronto balístico.

Assim, interessa à perícia criminal a adequada e correta manutenção dos projéteis coletados em cenas de crime. A literatura científica que aborda as diferentes formas de proteção e armazenamento desses projéteis é escassa e de difícil acesso por se tratar, muitas vezes, de procedimentos não publicados.

No presente trabalho, buscou-se realizar a caracterização físico-química de projéteis deflagrados por AF raiadas e estudar o emprego de materiais que, ao recobrir tais projéteis, sejam capazes de aumentar sua resistência à oxidação/corrosão. A análise de corrosão foi feita pela comparação dos estriamentos antes e depois do revestimento dos projéteis. Desta forma, o objetivo principal desse trabalho foi apresentar duas abordagens capazes de minimizar os efeitos da oxidação em projéteis deflagrados por armas de fogo com a finalidade de protegê-los contra a corrosão durante o tempo necessário até a conclusão do processo investigatório utilizando uma metodologia simples, de baixo custo e viável para aplicação em campo. Tais metodologias envolvem a aplicação de materiais conhecidos e acessíveis, como parafina [8,9] e lubrificante anticorrosivo multiuso.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Materiais e reagentes

Lubrificante anticorrosivo multiuso aerossol (de nome comercial WD-40, Lote WN117398, Indústria Brasileira), parafina sólida lenticulada macrocristalina 140/145 (Petrowax, Lote 1021/187, Indústria Brasileira) e ácido acético glacial (LS Chemicals, PA) foram adquiridos no comércio especializado.

2.2. Metodologia

Os projéteis foram coletados em túnel de algodão, submetidos ao ensaio de corrosão acelerada (descrito no subitem 2.4), examinados e comparados por quatro peritos criminais com experiência em confronto balístico utilizando-se um Microscópio Leica FS M situado no laboratório de Balística do Instituto de Criminalística de Campinas-SP.

Foram utilizadas duas AF raiadas para produzir três conjuntos de projéteis deflagrados: uma pistola Imbel modelo MD6 de calibre .40 S&W para os projéteis do tipo encamisado total e o revólver Taurus modelo Tracker 627 de calibre .357 MAG para os projéteis de calibre .38 SPL do tipo semiencaimado e do tipo chumbo nu. Como controle negativo foram utilizados um projétil de cada conjunto que não foi submetido a ambiente corrosivo nem a tratamentos anticorrosivos, sendo esses armazenados em recipiente fechado, com sílica gel e em temperatura ambiente durante os 33 dias.

Os conjuntos de projéteis submetidos ao ambiente corrosivo foram divididos em três grupos de acordo com o tratamento: sem tratamento (ST) - controle positivo, tratamento com parafina (PA) e tratamento com lubrificante anticorrosivo (WD). O ensaio foi realizado em triplicata.

O tratamento se deu pelo recobrimento da superfície externa metálica dos projéteis, mergulhando-os em parafina fundida e retirando-os em seguida, formando uma camada de parafina sólida, ou por espargimento de WD-40. Os projéteis receberam as nomenclaturas de ET40-PA, SE38-PA e CH38-PA (indicando recobrimentos com parafina para os projéteis encamisado total, semiencaimado e de chumbo nu, respectivamente) e de ET40-WD, SE38-WD e CH38-WD (indicando recobrimentos com WD-40 para os projéteis encamisado total, semiencaimado e de chumbo nu, respectivamente). As amostras sem tratamento e submetidas ao ambiente corrosivo (controle positivo) foram denominadas de ET40-ST, SE38-ST e CH38-ST (indicando controles positivos para os projéteis encamisado total, semiencaimado e de chumbo nu, respectivamente).

Ao longo do experimento sob ambiente corrosivo, que perdurou 33 dias, os projéteis de cada subconjunto foram retirados em diferentes tempos para avaliação no exame de confronto balístico com o controle negativo: dia 5 (D5), dia 9 (D9) e dia 33 (D33). O tempo máximo de 33 dias foi utilizado com referência devido a um ensaio anterior sob mesmas condições no qual projéteis sem proteção perderam todas as informações de estriamentos de forma que não foi possível realizar o confronto.

2.3. Caracterização físico-química

Para a análise de MEV, as amostras foram obtidas a partir do corte dos fragmentos de projéteis usando uma cortadeira da BUEHLER mod. Isomet 1000 com disco de corte Isomet Diamond Wafering Blades e água destilada como fluido. As amostras foram polidas com lixas d'água de várias granulometrias, disponíveis no laboratório GEMAT-IQ-UNESP, usando uma poliriz ARATEC APL 4, lavadas com isopropanol em ultrassom por 5 min e armazenadas em dessecador. As amostras polidas foram observadas ao microscópio eletrônico de varredura com energia de aceleração dos elétrons igual 10 keV e com software de operação PC v.2.1.0.3 MEV-FEG Jeol JSM-7500F equipado com detectores de análise química por espectrometria de raios X com dispersão de energia (EDX, do inglês energy dispersive x-ray spectroscopy) da Thermo Scientific mod. Ultra Dry, com software de operação NSS 2.3.

A microestrutura dos materiais foi analisada por difratometria de raios X (XRD, do inglês x-ray diffraction) usando um difratômetro de raios X RIGAKU, modelo SmartLab SE equipado com detector D/tex Ultra 250. Os

difratogramas foram obtidos no intervalo 2-teta entre 10 e 80°, com radiação Cu-Ka de comprimento de onda 1,54186 Å, passo 0,02 e varredura de 10°/min a 40 kV e 20 mA. Nas amostras encamisadas e semiencaimadas foram obtidos difratogramas de raios X em pontos aleatórios da camisa, bem como do núcleo dos projéteis.

2.4. Ensaios de corrosão acelerada

Os diferentes projéteis foram agrupados por tratamentos (PA, WD ou ST) e fixados horizontalmente em suportes plásticos pela ponta do projétil de forma que as raiais contendo os estriamentos estivessem livres para sofrer a ação do oxidante. Todos os agrupamentos, exceto o controle negativo, foram transferidos para um béquer fechado e submetidos à atmosfera oxidante forçada (15 mL de ácido acético 15% v/v) [13]. O sistema foi mantido no interior de uma caixa térmica em temperatura ambiente (26±2 °C) por um período de 33 dias. Todas as amostras coletadas foram fotografadas assim que retiradas da atmosfera oxidante e, após a remoção do excesso de remanescentes da oxidação, tiveram ao menos 3 raiais fotografadas no microscópio de comparação forense Leica FS M equipado com câmera Leica Flexcam C1. A **Figura 1** apresenta o sistema montado para a realização dos experimentos, bem como as armas de fogo utilizadas na deflagração dos projéteis.

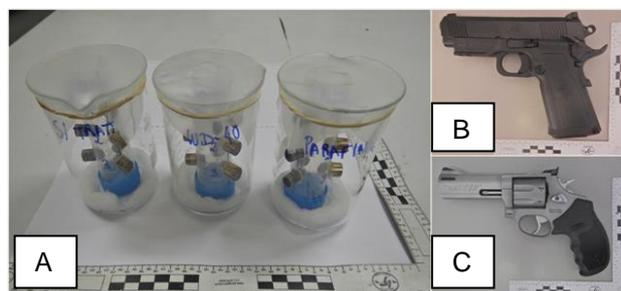


Figura 1. (A) Montagem do experimento exibindo os béqueres contendo os projéteis nos quais foi simulada atmosfera ácida. (B) Pistola MD6 .40 S&W e (C) Revólver 627 .357Mag. utilizados na obtenção dos projéteis deflagrados.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. MEV/EDX

A **Figura 2** apresenta os três projéteis examinados que não foram objetos do ensaio de corrosão e as respectivas regiões examinadas escolhidas para o ensaio de MEV/EDX. Foram escolhidas para o projétil CH38 duas regiões externas (A e C) e uma região interna (B). Para a amostra SE38 foram escolhidas duas regiões internas referentes ao núcleo do projétil (D e E) e uma região externa referente ao encamisamento do projétil (F). Já para a amostra ET40 foram escolhidas uma região interna do núcleo do projétil (H) e duas regiões externas do encamisamento do projétil (G e I).

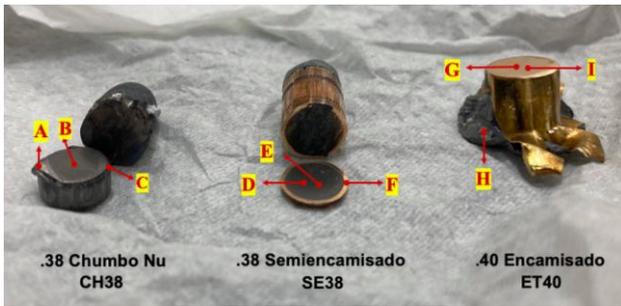


Figura 2. Foto das amostras CH38, SE38 e ET40, respectivamente, indicando os três pontos de cada projétil nos quais foram obtidas as imagens de MEV/EDX.

A **Figura 3** apresenta as micrografias eletrônicas e os correspondentes espectros de microanálise por EDX referentes aos pontos A, B e C do projétil CH38. Nas três imagens de microscopia observa-se uma morfologia que evidencia as marcas de lixa, consequência do processo de preparação da amostra, buracos e incrustações. Os principais elementos detectados nas microanálises de EDX da região total da micrografia foram Pb (chumbo), O (oxigênio) e Al (alumínio). O sinal fraco referente ao Sb (antimônio) pode ser atribuído a um possível resíduo de disparo de arma de fogo remanescente, mesmo após limpeza dos projéteis. Tem-se que o elemento predominante na parte interna do projétil é Pb, seguido de O e Al. A presença de O sugere que esse elemento possa estar associado ao Al ou ao Pb ou ambos na forma de óxidos, uma vez que esses metais são ativos na presença de oxigênio. Embora em alguns espectros esteja assinalado Fe (ferro), esse elemento foi detectado em um ponto externo da amostra, provavelmente como consequência de contaminação do molde de aço usado na preparação do projétil.

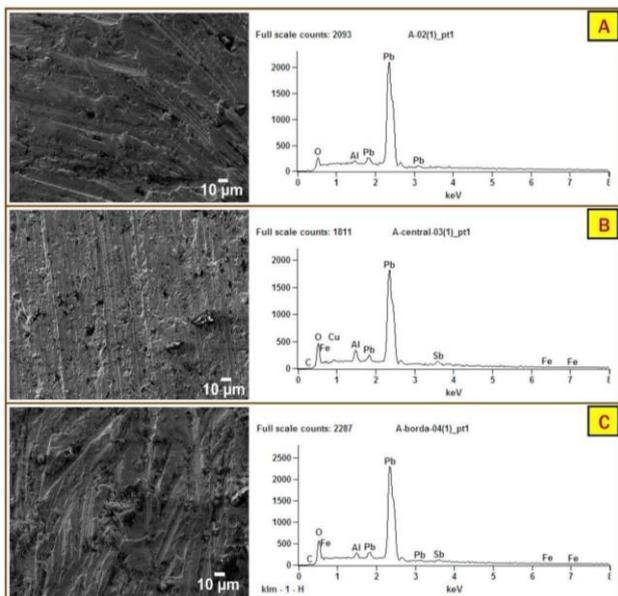


Figura 3. Imagens de MEV das regiões A, B e C do projétil CH38 e seus respectivos espectros de EDX. Os espectros de EDX foram obtidos em toda a superfície da imagem por MEV.

A **Figura 4** exibe as micrografias das regiões D, E e F da amostra SE38 e os dados de porcentagem de cada elemento presente nas regiões analisadas. A região central é bastante rugosa, com várias heterogeneidades como incrustações possivelmente de óxidos de Al, uma vez que análises de alguns pontos específicos (1, 4 e 5) mostraram alto teor de Al e O. A análise do ponto 3 poderia sugerir a presença de algum óxido de Pb. A camisa (porção externa) evidencia as marcas de lixas oriundas do processo de preparação da amostra e a análise por EDX identifica cobre (Cu) como elemento majoritário, um pouco de O e o elemento não esperado Pb, provavelmente oriundo de alguma região de interface camisa/parte interna do projétil. De forma semelhante, pode ter acontecido com o ponto 2 que apresenta Cu na composição.

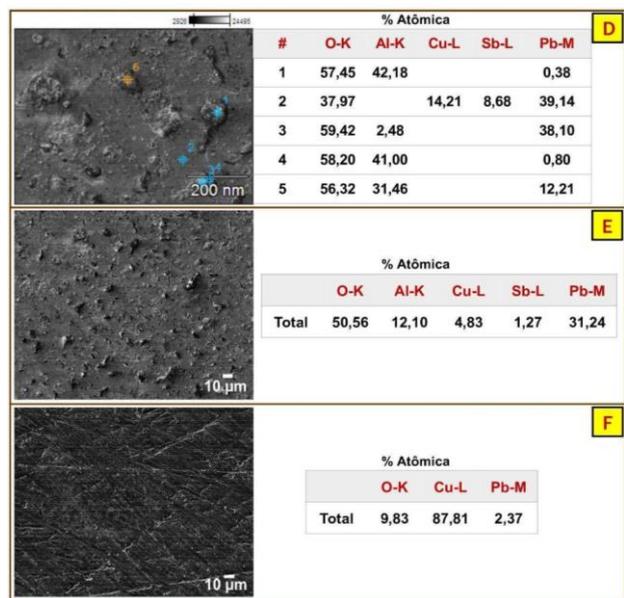


Figura 4. Imagens de MEV das regiões D, E e F do projétil SE38. A tabela superior mostra as porcentagens atômicas de 5 diferentes pontos da região D, enquanto as demais tabelas exibem as porcentagens atômicas obtidas em toda a superfície dos pontos E e F do projétil.

A **Figura 5** apresenta as micrografias das regiões G, H e I da amostra ET40 (projétil desmontado do cartucho) e os dados de porcentagem de cada elemento presente nas regiões analisadas: região externa referente à camisa metálica (regiões G e I) e região interna (núcleo de Pb; região H). A camisa se apresenta com coloração típica do Cu, diferente do projétil semiencamisado que tem coloração um pouco mais escura. Como nos casos anteriores, foram observadas raias causadas pelo processo de desgaste e polimento. A microanálise da camisa mostra Cu como elemento principal, seguido de O e, dependendo da região analisada, encontra-se pequena quantidade de elementos como Al, Ca e C, provavelmente contaminantes presentes na superfície. O núcleo interno do projétil contém Pb e O, sendo o elemento Pb encontrado majoritariamente.

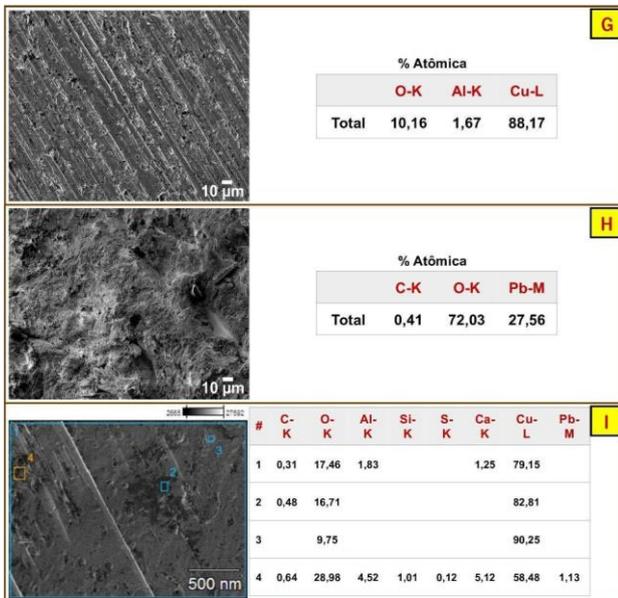


Figura 5. Imagens de MEV das regiões G, H e I do projétil ET40. As tabelas superiores mostram as porcentagens atômicas obtidas em toda a superfície dos pontos G e H do projétil, enquanto a tabela inferior exibe as porcentagens atômicas de 4 diferentes pontos da região I.

3.2. DRX

Para identificar a composição química, compostos e estruturas presentes nos diferentes materiais, foram obtidos os difratogramas de raios X das camisas e do núcleo dos fragmentos dos projéteis, conforme mostra a **Figura 6**.

No difratograma de raios X da amostra CH38, os picos mostraram-se compatíveis com Pb metálico de estrutura cúbica, sendo este o elemento majoritário; há também uma pequena quantidade de óxido de Pb (PbO). Os picos observados no difratograma da parte interna da amostra do projétil SE38 correspondem ao elemento majoritário Pb metálico de estrutura cúbica e óxido de alumínio (α -Al₂O₃) com estrutura do corundum, que aparece nas imagens de MEV como incrustações na amostra, além de pequena quantidade de PbO com estrutura tetragonal.

Ainda, o difratograma referente à camisa do projétil SE38 apresenta picos que indicam a presença de Cu metálico como elemento majoritário contendo óxido de Cu (Cu₂O) que faz parte da amostra e que, provavelmente, foi formado por uma oxidação interna. O difratograma da parte interna da amostra de projétil ET40, por sua vez, apresenta picos compatíveis com a presença de Pb metálico, elemento majoritário, e pequena quantidade de corundum (α -Al₂O₃) que aparece como incrustações na amostra quando se observa a microscopia eletrônica de varredura. No difratograma da camisa da amostra do projétil ET40 se observa como componente principal o Cu metálico. Não foi detectada a presença de compostos de antimônio ou ligas de antimônio, o que sugere que o pequeno pico que aparece no espectro de EDX pode estar relacionado a algum pico de escape ou está compreendido dentro do ruído do espectro.

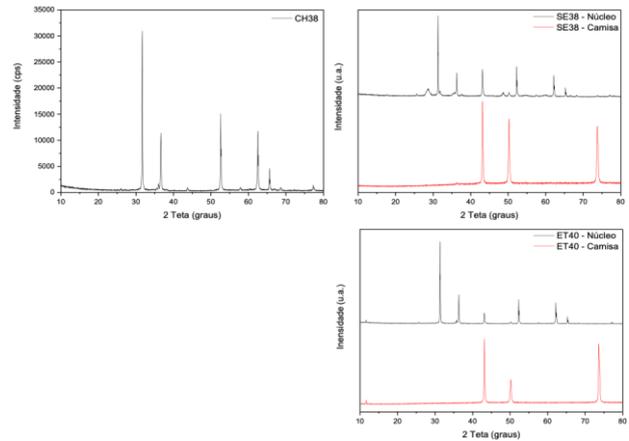


Figura 6. Difratogramas de raios X da amostra CH38 e do núcleo e da camisa dos projéteis SE38 e ET40.

3.3. Ensaios acelerados de corrosão

A observação macroscópica (observação à vista desarmada) indicou corrosões pontuais nos primeiros dois dias, sendo que no 3º dia todas as amostras estavam quase obscurecidas. No 5º dia foi observado aparecimento generalizado de corrosão ao redor de todos os projéteis, sendo mais evidente nas amostras sem tratamento e menos evidente nas amostras com tratamento utilizando a parafina, conforme observado na **Figura 7**. As amostras com tratamento utilizando a parafina apresentaram resultados intermediários. As observações no 5º dia por meio do microscópio comparador balístico indicaram que as marcas contendo características individuais (microestriamentos) dos projéteis CH38 ficaram mais prejudicadas quando comparados com os projéteis dotados de camisa (SE38 e ET40) (**Figura 8**). Cabe ressaltar que os projéteis utilizados como padrão (controle negativo) não apresentaram quaisquer alterações durante o período de estudo. A ordem de proteção encontrada foi: Sem Tratamento (ST) < Parafina (PA) < WD40 (WD).

No 9º dia observou-se avanço da oxidação na superfície dos projéteis sem tratamento, porém houve alteração da ordem de proteção para as amostras de CH38, obtendo-se o seguinte resultado: ST < WD < PA (Fig. 8). Para as amostras encamisadas (SE38 e ET40) não houve diferença significativa entre os tratamentos utilizados, sendo encontrada a seguinte ordem: ST < PA = WD.

A **Tabela 1** apresenta o método utilizado na classificação da qualidade da visualização das estrias dos projéteis, enquanto a **Tabela 2** apresenta a classificação dos projéteis analisados ao longo do experimento. As imagens coletadas do microscópio comparador utilizadas na classificação dos projéteis são mostradas na **Figura 8**.



Figura 7. Vista dos projéteis após 5 dias em atmosfera oxidante, sendo: (A) controle negativo; (B) controle positivo (sem tratamento); (C) tratamento com PA; e (D) tratamento com WD.

Tabela 1. Método utilizado para classificar qualitativamente a visualização das estrias. (A) Observações microscópicas de estrias sem profundidade (lineares) na superfície do projétil (microestriamentos). (B) Observações microscópicas de estrias com relevo na superfície do projétil (Macroestriamento).

Crítérios	Bom(B)	Médio(M)	Ruim(R)
A	Todos os microestriamentos claramente vistos	Microestriamentos parcialmente obliterados	Maioria dos microestriamentos obliterados
B	Macroestriamentos proeminentes	Macroestriamentos menos proeminentes	Maioria dos macroestriamentos liso/não proeminentes

Tabela 2. Classificação dos projéteis examinados qualitativamente no 5º, 9º e 33º dias com base nos critérios estabelecidos na Tab. 1.

Dias	Crítérios	CH38-ST	SE38-ST	ET40-ST	CH38-PA	SE38-PA	ET38-PA	CH38-WD	SE38-WD	ET40-WD
D5	A	R	R	R	R	M	M	M	B	M
	B	R	M	M	M	B	B	B	B	B
D9	A	R	R	R	M	R	R	R	R	R
	B	M	R	R	M	M	M	R	M	M
D33	A	R	R	R	M	R	R	R	R	R
	B	R	R	R	M	M	M	R	R	R

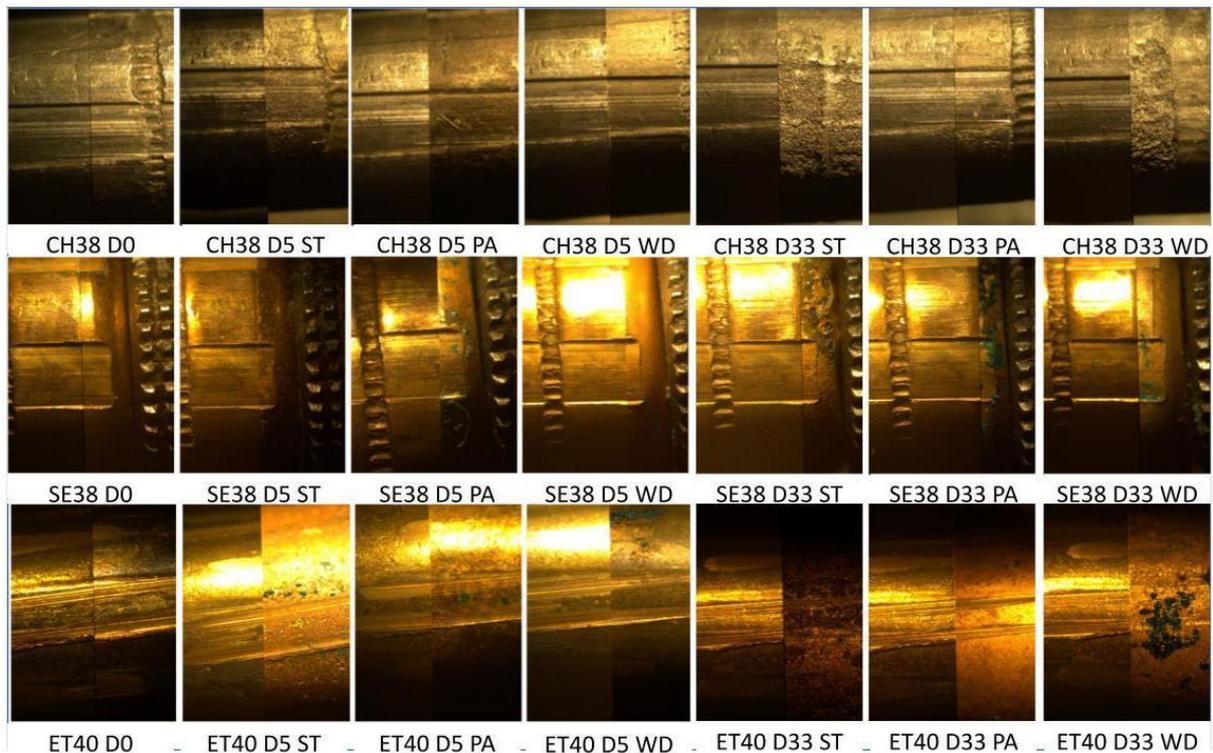


Figura 8. Imagens coletadas com o auxílio do microscópio comparador referentes ao início do tratamento (D0), 5º dia e 33º dia (D5 e D33, respectivamente) após cada um dos projéteis terem sido submetidos à atmosfera corrosiva com diferentes tipos de tratamento.

No 33º dia observou-se avanço da oxidação na superfície dos projéteis sem tratamento e com tratamento WD, sendo que esse apresentou corrosão maior que o esperado. Manteve-se a ordem de proteção para as amostras de CH38, obtendo-se o seguinte resultado: ST < WD < PA. Para as amostras encamisadas (SE38 e ET40), a menor corrosão ocorreu quando utilizado o tratamento com a parafina: ST < WD < PA.

4. CONCLUSÕES

Para o projétil CH38, os elementos detectados via microanálise de EDS foram Pb, O e Al, com predominância para o Pb. A análise de DRX confirmou que o projétil é composto de Pb metálico de estrutura cúbica. Além disso, a presença de O na análise de EDS se deve à presença de PbO no material. No projétil SE38, o alto teor de Pb bem como Al e O detectados na análise de EDS devem-se ao Pb metálico de estrutura cúbica que compõe o núcleo do projétil, bem como à presença de óxido de alumínio (Al₂O₃) com estrutura de corundum e pequena quantidade de PbO, conforme apontam as análises de DRX. A análise de EDX da camisa do mesmo projétil identificou Cu como elemento majoritário. A análise de DRX confirmou que a camisa desse projétil é composta majoritariamente por Cu metálico, mas conta com a presença de Cu₂O, possivelmente, formado devido ao processo de oxidação. Para o projétil ET40, na análise de EDX os elementos detectados foram Pb e O, com a presença majoritária de Pb. A análise de DRX confirmou que tais elementos encontram-se na forma de Pb metálico e pequena quantidade de corundum (Al₂O₃). A análise de EDX da camisa do projétil identificou Cu como elemento majoritário - chumbo metálico, conforme aponta a análise de DRX - além de O e Pb, e, ainda Al, Ca e C em algumas regiões.

O período de 33 dias em ambiente corrosivo foi suficiente para causar corrosão na superfície dos projéteis. Entretanto, os projéteis que receberam tratamento apresentaram maior preservação de estriamentos quando comparados aos projéteis sem tratamento. Os projéteis com proteção por WD tiveram melhores resultados até o 5º dia quando comparados com a proteção por PA. Contudo, o tratamento empregando PA mostrou-se mais efetivo para inibir o processo de corrosão em tempos mais longos (33 dias), o que sugere que a camada protetiva por PA se mantém por mais tempo comparada à camada por WD que é mais suscetível à remoção mecânica pela condensação da umidade. Ainda, comparando-se os diferentes tipos de projéteis analisados, os projéteis de chumbo nu demonstraram maior suscetibilidade à corrosão mesmo com proteção, indicando que a camisa do projétil, majoritariamente composta de cobre, tem maior resistência aos efeitos corrosivos.

Por fim, ambos os tratamentos analisados se mostraram eficientes na preservação dos projéteis, sendo, portanto, alternativas eficazes e de baixo custo para preservação de projéteis obtidos de cena de crime. No entanto, ainda se faz necessário desenvolver protocolos e verificar a ação das substâncias protetoras por períodos maiores e a viabilidade de outros sistemas de conservação que preservem macro e microestriamentos, elementos de análise fundamentais para identificação criminal de arma de fogo.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem às agências de fomento Capes (código 001), CNPq e Fapesp, bem como ao GEMAT – Grupo de Eletroquímica de Materiais, à UNIARA, à UNESP e à Polícia Científica do Estado de São Paulo pelo apoio concedido.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] J.L. Booker. Examination of the Badly Damaged Bullet. *J. Forens. Sci. Soc.* **20**: 153-162 (1980).
- [2] S.K. Dutta; S. Saikia; A. Barman; R. Roy; K. Bora; L.B. Mahanta; R. Suresh. Study on enhanced deep learning approaches for value-added identification and segmentation of striation marks in bullets for precise firearm classification. *Applied Soft Computing* **112**: 107789 (2021).
- [3] D. Tocchetto. Balística Forense: aspectos técnicos e jurídicos. 4a ed Campinas-SP; Millennium, (2005).
- [4] AFTE Committee for the Advancement of the Science of Firearm and Toolmark Identification. Theory of identification as it relates to toolmarks: revised. *AFTE J.* **43(4)**: 287 (2011).
- [5] R.M. Thompson. Firearm Identification in the Forensic Science Laboratory. *National District Attorneys Association*. Retrieved January 19, (2016).
- [6] D. Rao; H. Singh; J. Mowatt. Effects of human decomposition on test fired bullet – An experimental research. *Egyptian Journal of Forensic Sciences*, **6(1)**: 7-21 (2016).
- [7] C. Gaylarde; B. Little. Biodeterioration of stone and metal - Fundamental microbial cycling processes with spatial and temporal scale differences. *Sci Total Environ* **823**:153193 (2022).
- [8] T. Xiang; J. Liu; Q. Liu; F. Wei; Z. Lv; Y. Yang, L.P. Shi; C. Li; D. Chen; G. Xu. Self-healing solid slippery surface with porous structure and enhanced corrosion resistance. *Chemical Engineering Journal* **417**, 128083 (2021).
- [9] S. Yang; S. Richter; W. Robbins; S. Nestic. Evaluation of the protectiveness of a paraffin layer in CO₂ corrosion of mild steel. *NACE - International Corrosion Conference Series 3*. 2554-2568 (2012).
- [10] M.A. Collender; K.A.J. Doherty; K.T. Stanton. An investigation into the factors that influence toolmark identifications on ammunition discharged from semi-automatic pistols recovered from car fires. *Sci. Justice* **57 (1)**: 41-52 (2017).

[11] R.M. Larrison. Degradation of fired bullets and cartridge cases in different environmental mediums. *Afte Journal*, **38**, n. 3, p. 223 (2006).
[12] S. Brown. *The Effect of Weathering on Bullet and Cartridge Case Analysis and Identification*. University of Central Oklahoma (2022).

[13] A. Niklasson; L. Johansson; J. Svensson. Influence of Acetic Acid Vapor on the Atmospheric Corrosion of Lead. *J. of The Electrochemical Society* **152** 10.1149 /1.2084348 (2005).