



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS**  
**DEPARTAMENTO DE QUÍMICA ANALÍTICA E FÍSICO-QUÍMICA**  
**CURSO DE GRADUAÇÃO EM QUÍMICA**

**ROSÂNGELA MENDES PEREIRA**

**APLICAÇÃO DAS TÉCNICAS DE EXAMES RESIDUOGRÁFICO E  
METALOGRÁFICO EM ANÁLISES PERICIAIS**

**FORTALEZA**

**2022**

ROSÂNGELA MENDES PEREIRA

APLICAÇÃO DAS TÉCNICAS DE EXAMES RESIDUOGRÁFICO E  
METALOGRAFICO EM ANÁLISES PERICIAIS

Monografia apresentada ao curso de Graduação em Química da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Química com habilitação em Química Industrial.

Orientador: Prof. Dr. Antoninho Valentini

FORTALEZA

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Sistema de Bibliotecas

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

P495a Pereira, Rosângela Mendes.

Aplicação das técnicas de exames residuográfico e metalográfico em análises periciais /  
Rosângela Mendes Pereira. – 2022.

43 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro  
de Ciências, Curso de Química, Fortaleza, 2022.

Orientação: Prof. Dr. Antoninho Valentini.

1. Química forense. 2. Perícia forense. 3. Exame residuográfico. 4. Gravação  
metalográfica. I. Título.

CDD 540

---

ROSÂNGELA MENDES PEREIRA

APLICAÇÃO DAS TÉCNICAS DE EXAMES RESIDUOGRÁFICO E  
METALOGRÁFICO EM ANÁLISES PERICIAIS

Monografia apresentada ao curso de  
Graduação em Química da Universidade  
Federal do Ceará, como requisito parcial à  
obtenção do título de Bacharel em Química  
com habilitação em Química Industrial.

Aprovado em: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_\_\_

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Antoninho Valentini (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Jair Mafezoli  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Ma. Amanda Rafaela Serpa Camelo (Orientadora profissional)  
Perícia Forense do Estado do Ceará (PEFOCE)

---

Dr. Túlio Ítalo da Silva Oliveira  
Perícia Forense do Estado do Ceará (PEFOCE)

À Deus, o primeiro e maior químico de todos os tempos.

“Porque, deliberadamente, esquecem que, de longo tempo, houve céus bem como terra, a qual surgiu da água e através da água pela palavra de Deus.”

2 Pedro 3:5

## AGRADECIMENTOS

À Deus por ter me abençoado em todo tempo, me conferindo garra para permanecer até o fim e por ter sido minha fortaleza quando eu achava que não iria conseguir chegar tão longe.

À minha mãe, Edice, por sempre interceder por mim em suas orações e ao meu saudoso pai, José, por ter impetrado a benção “Deus te crie para o bem” até o último dia que teve voz, à ambos por terem me ensinado valores que levarei para sempre.

Ao meu amado esposo, George, por ter sido ombro amigo, companheiro, sempre acreditando na minha capacidade e me encorajando a perseverar.

Aos meus preciosos filhos, Isabella, Gabriel e George que foram a razão pela qual encarei esse desafio e nunca me deixaram desistir, ao contrário, me incentivaram a continuar todas as vezes que eu fraquejei.

Aos meus irmãos, Júnior, eficiente corretor ortográfico, Josenilson e Rosiane, bem como aos seus cônjuges, Andrhea, Liane e Michael, que sempre foram presentes, demonstrando orgulho por mim e felizes por minhas conquistas.

Aos meus sobrinhos, Mariana, Kézer, Káris, Pedro, Edson e Maria Eduarda por completarem com maestria essa base forte que é a minha família.

À minha querida amiga, Angélica, por suas sábias palavras sempre ditas quando eu mais precisava e por suas constantes orações.

À minha amiga de “jaleco”, Luzilane, de quem eu sempre ouvi a reconfortante frase “vai dar certo, amiga”.

Aos caríssimos professores da UFC, que, com dedicação e empenho, me passaram todo seu conhecimento durante minha jornada acadêmica, em especial, ao professor Antoninho Valentini, que me admitiu como sua orientanda e professor Jair Mafezoli, que, muito gentilmente, aceitou o convite para fazer parte dessa banca.

Ao coordenador da PEFOCE, Túlio Oliveira, por me aceitar como a primeira estagiária do curso de Química da UFC neste conceituado órgão, proporcionando-me uma oportunidade extremamente rica e prazerosa.

À minha orientadora profissional, Amanda Camelo, que me acompanhou diligentemente nesse processo, e aos colegas peritos do Núcleo de Química Forense, Moraes, David, Igor, Magnum e Márcio, que, juntamente com ela, me receberam tão bem e se dispuseram a passar todo seu conhecimento teórico e prático.

“O valor moral não pode ser substituído  
pelo valor inteligência e eu acrescentaria:  
Graças a Deus!”

Albert Einstein

## RESUMO

A perícia forense tem um importante papel na elucidação de crimes, bem como na determinação de culpa ou inocência do sujeito alvo de investigação, e a química é umas das ciências chave para a comprovação de fatos com resultados muitas vezes irrefutáveis. O presente trabalho tem por finalidade apresentar alguns métodos laboratoriais utilizados pela química forense. Entre estes, serão citados o exame residuográfico que, após a coleta de resíduos das mãos do possível atirador, utiliza o reagente rodizonato de sódio para averiguar a presença de resíduos de chumbo ou o microscópio eletrônico de varredura (MEV) com detector de energia de dispersão de raios X (EDS), que busca resíduos de íons metálicos específicos com determinada morfologia, a fim de comprovar a autoria de disparo por arma de fogo. Outro método é a revelação metalográfica que se baseia em restaurar por meio de ataque químico uma gravação obliterada em superfície metálica, geralmente chassis de carros roubados e armas de fogo utilizadas em crimes, utilizando-se reagentes ácidos.

**Palavras-chave:** química forense; perícia forense; exame residuográfico; gravação metalográfica.

## **ABSTRACT**

Forensic expertise has an important role in the elucidation of crimes, as well as in determining the guilt or innocence of the subject being investigation, and chemistry is one of the key sciences for proving facts with often irrefutable results. The present work aims to present some laboratory methods used by forensic chemistry. Among these, we will mention the residuographic test that, after collecting residues from the possible shooter's hands, uses either the sodium rhonate reagent to investigate the presence of lead residues or a scanning electron microscope (SEM) with energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDS) that looks for residues of specific metallic ions with a certain morphology, in order to prove the authorship of the firearm. Another method is the metallographic revelation which is based on restoring by chemical attack, an obliterated engraving on a metallic surface, usually stolen car chassis or firearms used in crimes, using acid reagents.

**Keywords:** forensic chemistry; forensic knowledge; residuographic examination; metallographic engraving.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	111
<b>2</b>	<b>BALÍSTICA FORENSE</b> .....	155
<b>2.1</b>	<b>Mecanismo de formação de GSR</b> .....	166
<b>2.2</b>	<b>Exame Residuográfico</b> .....	177
<b>2.2.1</b>	<i>Análises residuográficas com reagente rodizonato de sódio</i> .....	199
<b>2.2.2</b>	<i>Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)</i> .....	21
<b>3</b>	<b>METALOGRAFIA: O QUE É E PARA QUE SERVE?</b> .....	255
<b>3.1</b>	<b>Breve História da Indústria Automobilística no Brasil</b> .....	266
<b>3.1.1</b>	<i>Legislação aplicada à identificação veicular</i> .....	277
<b>3.2</b>	<b>Indústria e identificação das Armas de Fogo</b> .....	288
<b>3.3</b>	<b>Métodos de marcação</b> .....	30
<b>3.4</b>	<b>Formas de adulteração</b> .....	322
<b>3.5</b>	<b>Deformação plástica</b> .....	333
<b>3.6</b>	<b>Ataque Químico</b> .....	355
<b>3.6.1</b>	<i>Ataque químico do aço</i> .....	366
<b>3.6.2</b>	<i>Visualização após ataque químico</i> .....	377
<b>3.6.3</b>	<i>Composição de alguns reagentes de ataque químico</i> .....	388
<b>4</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	411
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	422

## 1 INTRODUÇÃO

Várias pesquisas e dados apontam para o crescimento da criminalidade e alertam que o aumento da violência se tornou um dos principais problemas do país. A Constituição de 1988 prevê garantias e direitos individuais aos cidadãos, bem como o direito de se manter em silêncio e não constituir prova contra si durante interrogatório policial, por exemplo. Sobre isso, Rodrigues, Silva e Truzzi (2010) também acrescentam que:

Assim, no Estado Democrático de Direito é preciso conciliar o respeito aos direitos humanos com uma investigação eficaz dos crimes, de forma a levar os seus autores às barras dos tribunais e propiciar um julgamento justo. É neste contexto que a perícia criminal adquire importância, como o segmento responsável pela produção da prova pericial, usando como fonte de seu trabalho o conhecimento científico e as inovações tecnológicas aplicadas.

O Brasil conta com a atuação de três forças policiais no combate ao crime, essas forças desempenham um importante trabalho no âmbito estadual em vias concomitantes. A primeira delas é a polícia militar que age ostensivamente no combate direto com a marginalidade, a segunda é a polícia civil executando a função investigativa e a terceira é a polícia científica que é responsável pela pesquisa de vestígios da cena de um crime (OLIVEIRA, 2006).

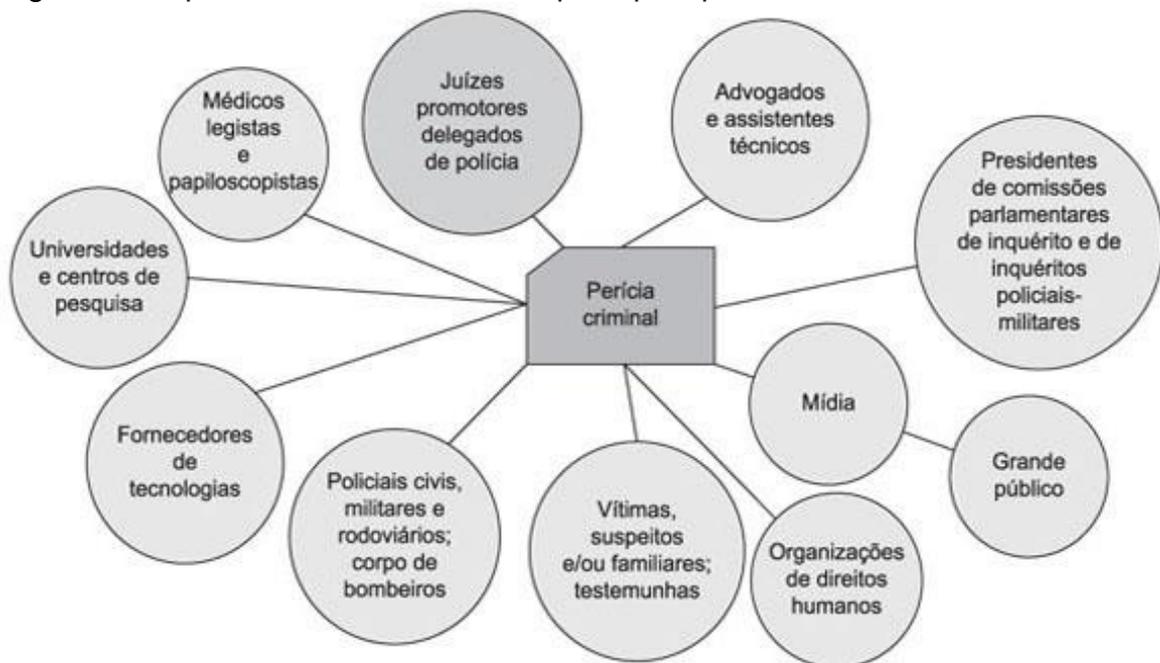
Segundo Vanini (2014), é de extrema importância que se desenvolvam metodologias aprimoradas para a elucidação de crimes, por isso a pesquisa forense busca a conciliação entre o trabalho de polícia e a ciência e tecnologia, nesse sentido utiliza-se do conhecimento nas áreas de Química, Física, Biologia e Engenharias. Vanini (2014) acrescenta que a química forense se destaca, uma vez que não é somente na área da criminalística que se utilizam métodos fundamentados em reações químicas, a toxicologia também faz uso de técnicas analíticas e instrumentos baseados nas propriedades químicas para que se possa emitir um laudo técnico-científico.

O aprimoramento tecnológico permite que, além da toxicologia, o perito químico possa operar em outras áreas, tais como: análise de alteração em numerações de veículos e armas, investigação de fraudes em medicamentos, identificação de adulteração em bebidas e combustíveis, documentoscopia, balística, entre outras, de modo que esse trabalho pericial vem sendo cada vez mais essencial na elucidação de crimes (VANINI, 2014).

Conforme Zarzuela (1995, *apud* LIMA *et al*, 2011), “denomina-se Química Forense o ramo da Química que se ocupa da investigação forense no campo da química especializada, a fim de atender aspectos de interesse judiciário.”

O Código de Processo Penal (CPP) é o agente regulador da atividade pericial (RODRIGUES; SILVA; TRUZZI, 2010). Ao perito criminal é exigido que se relacione com uma rede de diferentes atores, de instituições distintas, com prioridades próprias a cada um, como representado na figura 1.

Figura 1 – A perícia criminal e os seus principais públicos



Fonte: Rodrigues *et al*, 2010

De acordo com Rodrigues, Silva e Truzzi (2010, p. 847), é da Polícia Civil que se origina o maior fluxo de informações e materiais, sendo o delegado de polícia o responsável por requisitar a perícia. Também há fluxo de informações oriundo do Poder Judiciário, com requisições de exames e laudos para instrução de processos ou, ainda, respostas a quesitos escritos ou o comparecimento do perito em juízo para esclarecimentos. Fica explícito que, nessa rede de atendimento, o principal e final usuário é a sociedade como um todo, a quem interessa que o maior valor do serviço seja a imparcialidade da justiça. Assim, a contribuição da perícia criminal será a elaboração da prova material ou pericial, denominada Laudo Pericial.

Com efeito, Bernal e Guelfi (2004), afirmam que vestígio é o rastro produzido em decorrência do fato ou relacionado ao fato em análise e algumas vezes

pode referir-se também ao “objeto” que contém tais rastros. Ainda segundo Bernal e Guelfi (2004), o vestígio sendo submetido à perícia resulta num laudo que corrobora ou nega um fato ou circunstância, de modo que esses elementos compõem a peça conhecida como prova material.

Prova é o conjunto de atividades de verificação e demonstração, mediante as quais se procura chegar à veracidade de uma alegação quanto aos fatos relevantes para o julgamento (DINAMARCO, 2020). O processo penal só existirá, conforme artigo 386, II do CPP, se houver prova (BERNAL; GUELF, 2004).

Segundo Bernal e Guelfi (2004), são exemplos de provas materiais:

- a) exame datiloscópico da arma, formalizado em laudo pericial, indicando o uso da arma pela pessoa X;
- b) exame de balística, formalizado em laudo pericial, realizando confronto microbalístico indicando que o projétil foi disparado pela arma de fogo;
- c) exame residuográfico da mão da pessoa X, formalizado em laudo pericial, detectando a presença de pólvora;
- d) exame residuográfico da mão da pessoa Y, formalizado em laudo pericial, não detectando a presença de pólvora;
- e) autópsia, formalizada em laudo pericial, relatando que a morte foi decorrente da perfuração causada pelo projétil.

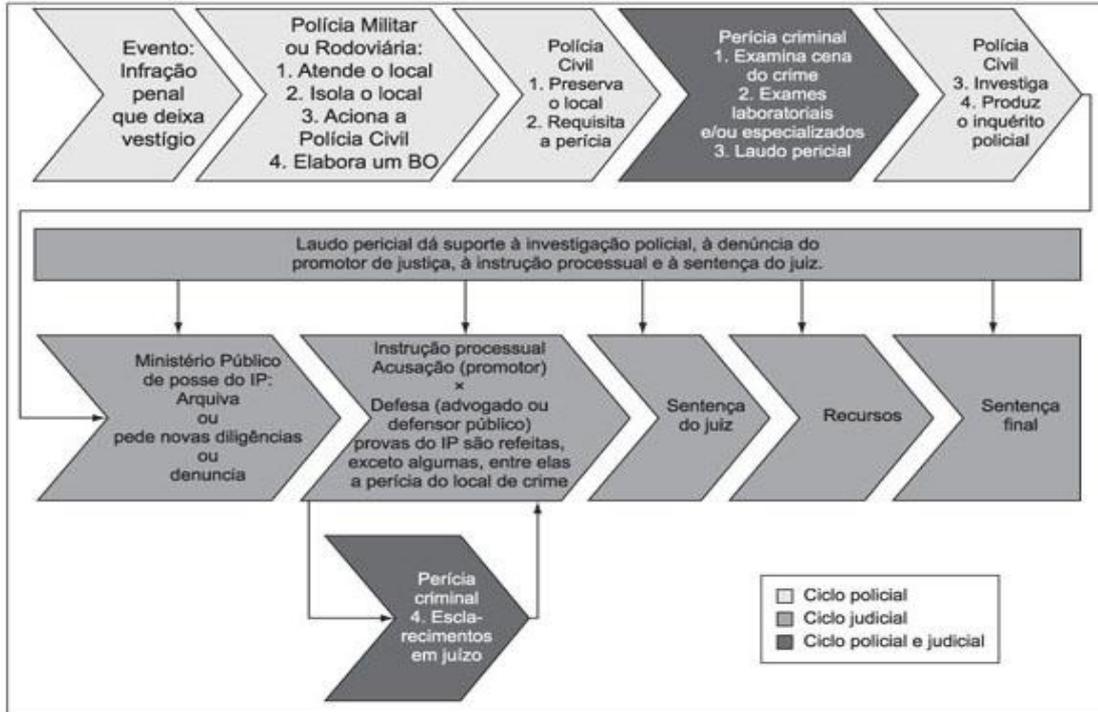
O artigo 239 do CPP considera que indício é a circunstância conhecida e provada, que, tendo relação com o fato, autorize, por indução, concluir-se a existência de outra ou outras circunstâncias.

Bernal e Guelfi (2004) apresentam como exemplo de indícios (circunstâncias provadas) e fato:

- a) que a pessoa X utilizou a arma;
- b) que um projétil dessa arma atingiu a vítima;
- c) que a vítima faleceu em decorrência da perfuração causada pelo projétil;
- d) que a pessoa X estava no prédio no momento do fato;
- e) fato:
  - Assassinato: que a pessoa X atirou na vítima que veio a falecer em decorrência da perfuração causada pelo projétil.

A figura 2 representa bem o quanto o trabalho de ciência forense auxilia dando o suporte necessário a todo o processo de investigação.

Figura 2 – Macroprocesso simplificado do evento até a sentença final



Fonte: Rodrigues *et al*, 2010

O ordenamento jurídico somente aceita as modalidades de provas periciais especificadas no decorrer do capítulo II, do título VII, do Código de Processo Penal (REIS JÚNIOR; CASTRO, 2013, p. 184).

Nos capítulos seguintes serão explanadas as técnicas de análise residuográfica e metalográfica que são utilizadas atualmente pelos peritos do Núcleo de Química Forense (NUQFO) da Perícia Forense do Estado do Ceará (PEFOCE), com sede em Fortaleza.

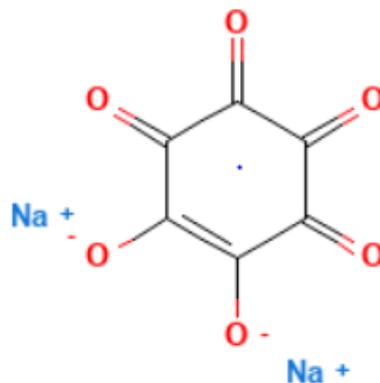
## 2 BALÍSTICA FORENSE

O Brasil apresenta um índice alarmante de mortes por arma de fogo (AF). Enquanto, em um contexto mundial, as mortes violentas causadas por arma de fogo chegam a 60%, no Brasil esse índice é de 70%. (VANINI, 2014). Relacionando a quantidade de crimes de homicídio no Brasil com o uso de armas de fogo, Costa (2016) aponta a contribuição da Balística Forense como um importante trabalho de detecção de partículas oriundas do disparo por arma de fogo (GSR - *GunShot Residues*) nas mãos do suspeito na determinação da autoria do fato criminoso.

Conceitua-se Balística como a ciência forense integrante do escopo da Criminalística que estuda as armas de fogo, suas diferentes munições e os efeitos dos tiros por elas produzidos sempre que tiverem nexos causal com crimes, visando identificar a dinâmica, materialidade e autoria dos fatos (DESTEFANI, 2014, *apud* TOCCHETTO, 2009).

Este capítulo trata da parte da balística que analisa as mãos do possível atirador e apresenta duas das técnicas aplicadas para identificação de GSR: exame residuográfico utilizando solução acidificada de rodizonato de sódio ( $C_6Na_2O_6$ ) (Figura 3) para determinar a presença de chumbo (Pb) e exame residuográfico por meio de microscopia eletrônica de varredura com detector de energia de dispersão de raios X (MEV/EDS) utilizado para identificar partículas contendo Chumbo (Pb), Bário (Ba) e Antimônio (Sb).

Figura 3 – Estrutura química do rodizonato de sódio

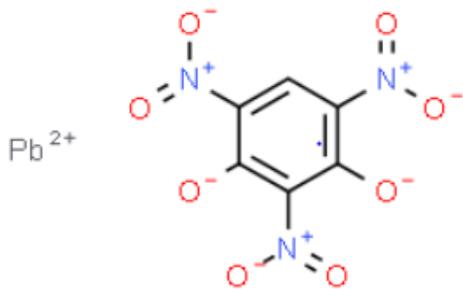


Fonte: PubChem, 2022

## 2.1 Mecanismo de formação de GSR

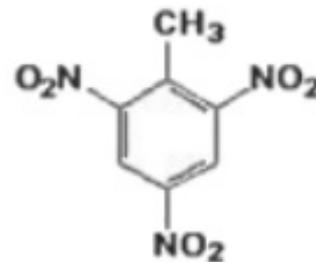
No momento do disparo da arma de fogo um mecanismo é acionado. Há um aumento de pressão e temperatura dentro da espoleta da munição quando esta é atingida pelo percussor, comprimindo e inflamando a mistura iniciadora, após a detonação da espoleta ocorre a deflagração do propelente, que é o material explosivo também chamado de pólvora, que está confinado no estojo, a explosão ocasionará a expulsão do projétil. Essa mistura iniciadora, no caso de munições convencionais, apresenta substâncias como estifnato de chumbo ( $C_6H_3N_3O_8Pb$ ) (Figura 4), que é um composto explosivo, nitrato de bário ( $Ba(NO_3)_2$ ) um oxidante, trissulfeto de antimônio ( $SbS_3$ ), combustível, e 2,4,6-trinitrotolueno ( $C_7H_5(NO_2)_3$ ) (Figura 5) conhecido TNT (FRANK, 2016). Os componentes da munição estão definidos na figura 6.

Figura 4 – Estrutura química do estifnato de chumbo



Fonte: ChemSpider, 2022

Figura 5 – Estrutura química do 2,4,6-trinitrotolueno



Fonte: Barreto *et al*, 2007

Figura 6 – Componentes de um cartucho



Fonte; Sindespe, 2014

A temperatura que atinge a pólvora, carga propulsora, chega à ordem de  $2000^{\circ}C$ . A alta temperatura aumenta o volume de gases que são decorrentes da

elevada velocidade de deflagração da carga propulsora. Resultando na aceleração do projétil, empurrando-o para fora, pelo cano da arma de fogo (REBOLEIRA, 2013).

Frank (2016) relata que os resíduos de disparo ou GSR são ejetados pela boca do cano (GSR-B) e por outras folgas da arma, como a culatra (GSR-C). Os vapores decorrentes da explosão da mistura iniciadora (*primer*) e da pólvora (propelente) entram em contato com a temperatura ambiente e as partículas se condensam predominantemente na forma esférica. As partículas condensadas se depositam nas mãos e roupas do atirador.

Conforme já foi mencionado, Oliveira (2006) também argumenta que além da nuvem de gases que é projetada pelo cano da arma juntamente com o projétil, há uma parcela dessa expansão gasosa que é expelida por outros orifícios presentes numa arma de fogo, a saber, a culatra, no caso de revólveres, e a janela de ejeção, no caso de pistolas, e é esse fluxo gasoso que carrega tanto os compostos inorgânicos como o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) e o dióxido de enxofre ( $\text{SO}_2$ ) presentes na combustão.

A figura 4 apresenta o mecanismo de formação da nuvem de gases que é gerada no momento do disparo permitindo observar a emissão de GSR-C e GSR-B.

Figura 4 – Nuvem de gases resultante da combustão da munição. Adaptado de Discovery



Fonte: Oliveira, 2020

## 2.2 Exame Residuográfico

Alguns métodos analíticos colorimétricos, como o teste da parafina e o teste de Griess não são mais utilizados, pois faziam análises baseadas na presença de

nitritos e nitratos, que são reagentes da pólvora, e por diversas vezes resultavam em falsos positivos, tendo em vista que esses elementos são comuns em outras fontes que não dizem respeito a GSR (ABREU, 2017. MARTINY; PINTO, 2008).

Atualmente outras técnicas são utilizadas pela balística forense para a identificação do GSR, nesse caso, os marcadores químicos inorgânicos de interesse são Pb, Ba e Sb, componentes do iniciador presentes na espoleta, considerados mais frequentes nos resíduos de disparo por arma de fogo (VANINE, 2014).

Segundo Oliveira (2006), o fluxo gasoso, que também é responsável por carregar os cátions dos metais chumbo e antimônio e partículas metálicas oriundas da fragmentação da espoleta decorrentes da explosão, quando é emitido pela região traseira da AF e atingem a pele do atirador, ocasiona a aderência de tais partículas sólidas sobre a pele. Oliveira (2006) ainda relata que o íon de chumbo é a espécie metálica em maior quantidade em relação às demais no caso do GSR e por esse motivo comumente se utiliza uma técnica de detecção deste íon para análise de resíduos de AF nas mãos de um suspeito.

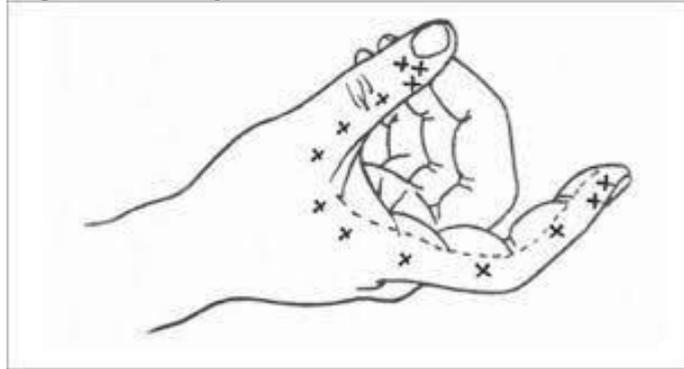
Basu (1982 *apud* FRANK, 2016) também explica que no estágio de resfriamento, devido às temperaturas de solidificação do Ba e Sb (725°C e 630,5°C respectivamente) serem bem próximas, a solidificação destas partículas ocorre primeiro formando um núcleo encoberto por uma crosta de Pb, o qual possui temperatura de solidificação mais baixa (327°C), tornando-se assim mais provável encontrar este íon metálico.

Sobre as áreas onde se depositam os resíduos, Vanini (2014) pondera que:

A identificação de GSR inorgânicos dentro da balística forense representa uma das práticas mais realizadas para a identificação do atirador, pois em locais onde ocorreu a produção de um disparo, lesão corporal ou morte por AF, existe a possibilidade de encontrarmos os GSR em anteparos, vestes ou partes do corpo não cobertas por vestes e nas mãos do atirador ou de algum indivíduo que esteve próximo do evento. Os resíduos que saem das câmaras podem atingir as mãos do atirador, em especial a região dorsal dos dedos polegar e indicador, e a palma da mão. Nestas regiões é que devem ser pesquisados e revelados os possíveis resíduos de um tiro.

A coleta para análise pericial ocorre preferencialmente na pinça dorsal das mãos do suspeito, conforme mostra a figura 5, pois sabe-se que é nessa área onde se tem a maior probabilidade de se encontrar as partículas de interesse, visto a proximidade da arma com essa parte do corpo (OLIVEIRA, 2020).

Figura 5 – Pinça dorsal

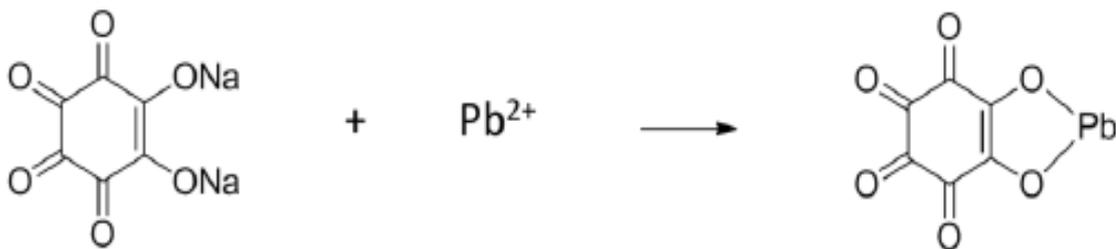


Fonte: Pinto *et al*, 2005

### 2.2.1 Análises residuográficas com reagente rodizonato de sódio

O exame residuográfico com a utilização do rodizonato de sódio é um teste colorimétrico qualitativo clássico. Costa (2016) ressalta que também é bastante utilizado no meio investigativo por ser um teste simples e rápido. Ocorre uma reação química de formação de composto colorido entre o rodizonato de sódio e os metais presentes no GSR. Para Vanini (2014), entre os testes colorimétricos, esse se destaca com a vantagem de envolver um baixo custo e se caracteriza pelo aparecimento de manchas vermelho-rosa, após a aplicação da solução do reagente, indicando a presença de Pb (Figura 6).

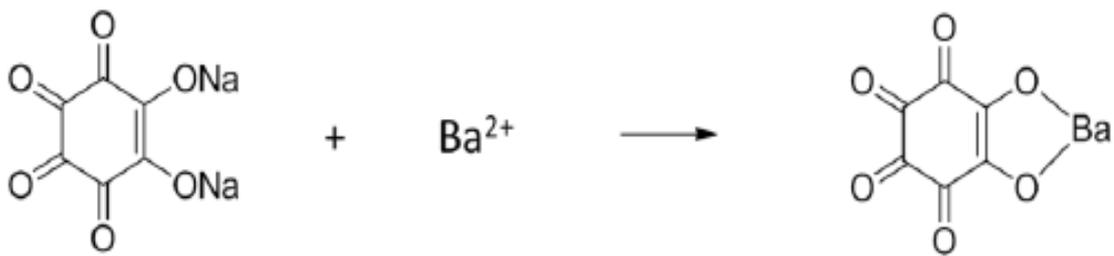
Figura 6 – Reação com rodizonato de sódio para identificação dos íons  $Pb^{2+}$



Fonte: Vanini (2014, p. 24)

Ainda segundo Vanini (2014) também ocorre, em alguns casos, a formação do complexo com o Ba, do oxidante nitrato de bário, e neste caso a coloração visualizada é laranja (Figura 7).

Figura 7 – Reação com rodizonato de sódio para identificação dos íons  $Ba^{2+}$



Fonte: Vanini (2014, p. 24)

Para que a reação de complexação ocorra, o rodizonato de sódio precisa encontrar-se em meio ácido (pH ~ 3). Nesse caso, prepara-se uma solução tampão de ácido tartárico e tartarato de sódio e potássio para ser utilizada em conjunto na análise.

A coleta dos resíduos é feita utilizando-se duas tiras de esparadrapo, sendo uma para cada mão. Estas são pressionadas sobre a pele da região da pinça dorsal das mãos, estando o suspeito vivo ou morto, , até que não se tenha mais aderência ao esparadrapo. Em seguida, cada esparadrapo é imobilizado sobre um papel filtro devidamente identificado. Posteriormente, sobre a área do esparadrapo que entrou em contato com a mão, borrifa-se a solução tampão e a solução de rodizonato de sódio (Figura 8). Após a secagem, a análise pericial do esparadrapo é realizada, minuciosamente, utilizando-se um microscópio óptico convencional (OLIVEIRA, 2006).

Figura 8 – Exame residuográfico com solução ácida de rodizonato de sódio



Fonte: Oliveira, 2006

Esta técnica apresenta o risco de se obter um falso negativo, tendo em vista a explicação dada por Frank (2016) quando relata que dois fatores podem diminuir as

chances de se encontrar GSR na mão do atirador, velocidade do projétil e tempo. Quando a velocidade do projétil é aumentada ocorre uma maior diferença de pressão na sua esteira de modo que os resíduos do tiro são arrastados. O fator tempo, que segundo Frank é objeto de estudo de vários autores, também influencia na permanência dos compostos inorgânicos de GSR-C na mão do atirador vivo, tendo em vista que o número de partículas consistentes diminui, em função do tempo, de forma exponencial por efeito das atividades realizadas que exigem a utilização das mãos do indivíduo.

Para Vanini (2014), a baixa sensibilidade é uma das grandes desvantagens desse método possibilitando um resultado falso-positivo devido contaminação prévia por outros materiais.

### **2.2.2 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)**

Vanini (2014) afirma que, em Balística Forense, a microscopia eletrônica de varredura com detector de energia de dispersão de raios X (MEV/EDX) é uma técnica que permite a identificação inequívoca de GSR. O resultado é considerado confiável e sensível para afirmar se realmente um indivíduo efetuou disparos ou esteve próximo a um disparo por arma de fogo.

Esta técnica de microscopia eletrônica de varredura acoplada com um espectrômetro de raios X característicos por dispersão em energia já era utilizada, desde a década de 70, porém, de forma bem limitada devido à pequena quantidade de MEVs instalados (FRANK, 2016).

Para Lima *et al* (2011) há uma diferença entre a quantidade de resíduos que podem ser encontradas nas mãos do suspeito de disparo de arma de fogo. Ele considera que uma pistola, por se tratar de arma fechada que possui diferentes tamanhos e formatos de janela de ejeção, pode deixar uma menor quantidade de GSR que um revólver. No caso de armas longas e submetralhadoras, essa possibilidade de encontrar resíduos é menor ainda. Portanto, ele confirma que a técnica de análise resíduográfica feita através do MEV/EDX seria a mais indicada entre as técnicas existentes.

Existe forte evidência de que um resíduo é oriundo de disparo por arma de fogo quando este apresenta os elementos Pb, Ba e Sb numa mesma partícula. Essas partículas também podem ser encontradas em pastilhas de freio, porém, nesse caso,

também seria identificada a presença de ferro (Fe), Cobre (Cu) e Zinco (Zn) numa quantidade considerável, isso descartaria a possibilidade de ser GSR visto que esses elementos, em número maior que o vestigial, são incompatíveis com a composição das cargas das munições. (LIMA *et al*, 2011) Corroborando com esta questão, Martiny e Pinto (2008) informam que foi feita uma análise em 27 modelos de pastilhas de freio de 9 fabricantes nacionais. O estudo relata que embora tenham sido encontradas partículas contendo os elementos Pb, Ba e/ou Sb em alguns dos modelos, apenas uma vez foi observada uma partícula esférica composta simultaneamente pelos três elementos químicos

A Polícia Federal Brasileira adota a norma ASTM E1588 que aconselha o uso do MEV/EDX para a análise de GSR e define que a partícula de GSR, como já foi informado anteriormente, deve possuir morfologia esferoide e ser composta de Pb, Ba e Sb, também estabelece as composições como características ou consistentes de GSR conforme mostradas na tabela 1 (LUCENA, 2012).

Tabela 1 – Classificação segundo a norma ASTM E1588

Características	Consistentes
	Ba, Ca, Si <sup>[1]</sup>
	Sb, Ba <sup>[2]</sup>
	Pb, Sb
	Ba, Al <sup>[3]</sup>
Pb, Ba, Sb	Pb, Ba
	Pb <sup>[4]</sup>
	Sb <sup>[4]</sup>
	Ba <sup>[3]</sup>

[1] Com traço de S

[2] Com traço de Fe ou de S

[3] Sem traço de S

[4] apenas na presença de partículas consideradas características ou consistentes

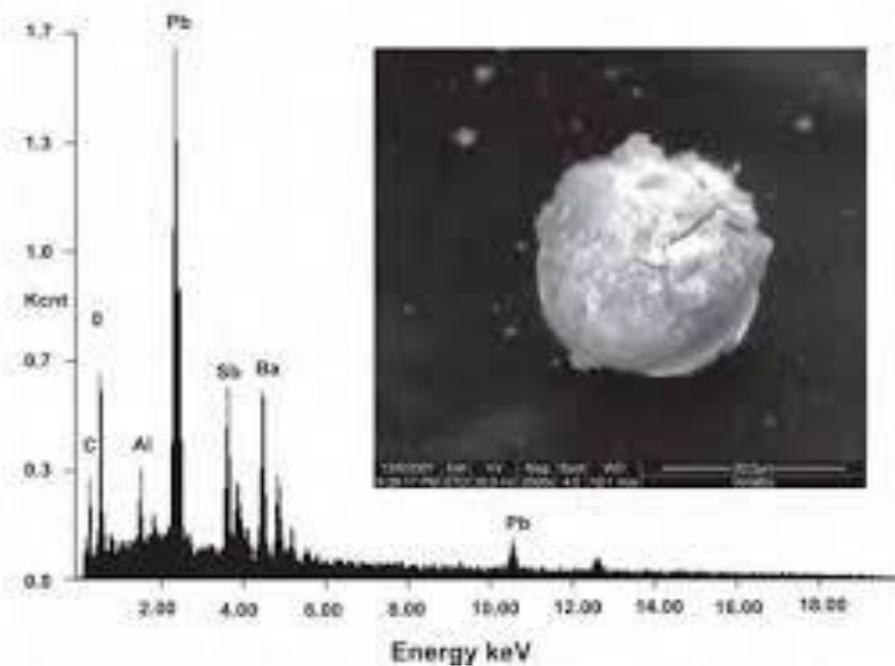
Obs.: Partículas contendo Pb, Sb e Ba e um ou mais dos elementos a seguir, e apenas eles: Si, Ca, Al, Cu, Fe (traço), S (traço), P, Zn, Ni (em conjunto com Cu e Zn), K, Cl, Sn, Zr

Fonte: Lucena (2012, p. 23). Adaptada pelo autor

Segundo Frank (2016) o uso do MEV facilita a comprovação da presença de resíduos de disparo por arma de fogo, pois verifica simultaneamente as

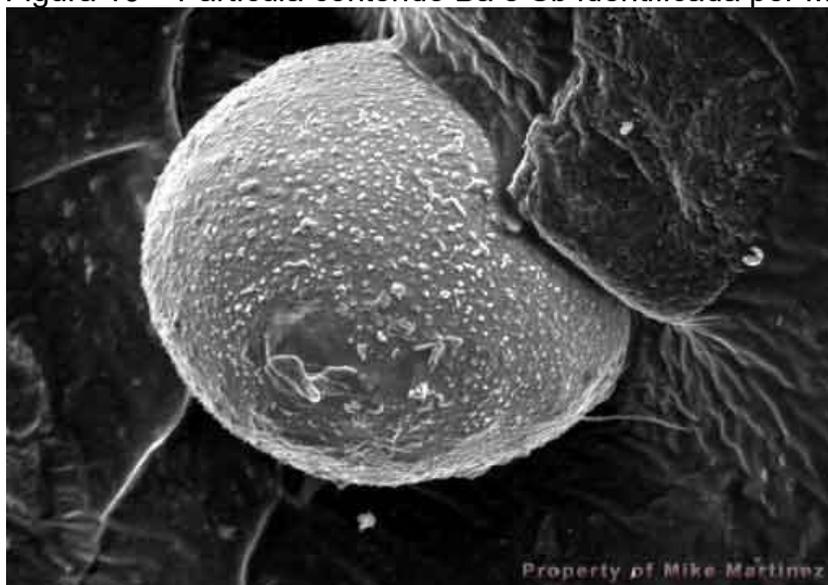
peculiaridades desses elementos que são partículas bem pequenas, da ordem de 0,5 a 10  $\mu\text{m}$ , de formato esferoidal e pouco cristalinas, como mostram as figuras 9 e 10. Essas partículas, quando de origem laboral, não seriam visualizadas com uma morfologia esferoidal, mas com formato irregular.

Figura 9 – Partícula obtida por microscopia eletrônica de varredura e espectro correspondente de EDX com a composição química da partícula de GSR.



Fonte: Martiny e Pinto, 2008

Figura 10 – Partícula contendo Ba e Sb identificada por MEV



Fonte: Martinez, 2022

O método preferencial e mais apropriado para coleta de resíduos é utilizando fita de carbono dupla face aderida a um suporte metálico específico para MEV denominado *stub*. Existem tipos variados de *stub* disponíveis no mercado, sendo específico para cada modelo de equipamento, e os recomendados para fins de coleta forense possuem uma área de aproximadamente 126,7mm<sup>2</sup>, equivalente a 12,7mm de diâmetro, o que reduz a área de busca. Esse modelo de *stub* possui um pino na parte inferior (*pin stub*) provendo o encaixe no suporte apropriado, permitindo que o responsável pela coleta manipule o equipamento de forma facilitada evitando o contato das mãos com a face do *stub* e sua contaminação (MARTINY; PINTO, 2008).

O resultado da análise depende da agilidade e dos cuidados no momento da coleta. A coleta precisa ser rápida e fácil, contudo, deve-se ter todo esmero no armazenamento da amostra, prevenindo a contaminação por fontes adversas. Para facilitar a identificação, algumas empresas colocam marcações coloridas para que se possa diferenciar mão esquerda de mão direita além da identificação numérica que os *stubs* para análise pericial já possuem. Recomenda-se que a coleta seja realizada pressionando-se o conjunto porta-amostra-*stub* sobre a região de interesse aproximadamente 50 vezes (Figura 11), evitando regiões úmidas (PINTO et al, 2005) (MARTINY; PINTO, 2008).

Figura 11 – Coleta de GSR utilizando *stub* para MEV com fita dupla-face de carbono e suporte protetor para coleta com *stub*



Fonte: Pinto et al, 2005

### 3 METALOGRAFIA: O QUE É E PARA QUE SERVE?

A metalografia é uma área de estudo de grande importância, pois restaurar números de série obliterados ou adulterados das estruturas metálicas de chassis de veículos automotores roubados e de armas de fogo usadas em práticas delituosas é uma situação costumeira na ciência forense (KUPPUSWAMY, 2011).

Segundo a Organização Internacional de Polícia Criminal (INTERPOL), a quantidade de roubos, principalmente de armas e de veículos, é muito alta no mundo todo e muitas vezes estão ligados ao crime organizado e grupos terroristas. Este é um fenômeno que acarreta graves repercussões financeiras, afetando bens pessoais, negócios, economia e segurança pública (LIMA, 2017). O Banco de Dados de Veículos Motorizados Roubados da INTERPOL (SMV – Stolen Motor Vehicle) relata que em 2020, cerca de 248.976 veículos motorizados foram identificados como roubados em todo o mundo.

No Brasil, em média, um carro é roubado por minuto. De acordo com dados informados no Mapa da Criminalidade, divulgado pelo Ministério da Justiça e Defesa Social, em 2018 foram registradas mais de 476 mil ocorrências de roubo e furto de veículos no país (MINUTO SEGURO, 2019).

O Sistema Nacional de Informações de Segurança Pública, Prisionais e sobre Drogas (SINESP) divulgou que o Brasil ultrapassou a marca de 2 milhões de ocorrências, entre 2015 e 2019. O levantamento apontou 1.139.691 casos de furto e 1.103.606 roubos. Ressaltando que, os roubos além de serem crime contra o patrimônio, ainda colocam em risco a vida das vítimas (SACHETO, 2019).

Outro fator alarmante que ameaça não somente à segurança do povo de uma nação, mas também à estabilidade, paz e desenvolvimento global, é o uso indevido de armas de fogo. Em decorrência da facilidade de transporte e ocultação, armas de pequeno porte são eventualmente contrabandeadas e oferecem grandes margens de lucro aos criminosos. Estima-se que todos os anos as armas de fogo são envolvidas em mais de 245 mil homicídios no mundo, desconsiderando os países em guerra (INTERPOL, 2022).

Segundo a INTERPOL (2022), o Brasil é o maior país da América do Sul, com 16.000km de fronteira terrestre e 8.000km de litoral para ser protegido contra o crime. Sua localização geográfica no coração das Américas e seus numerosos portos marítimos situados em rotas de transbordo para os mercados globais o tornam

atraente para o crime organizado. Como regra geral, as redes criminosas organizadas estão envolvidas em muitos tipos diferentes de atividades criminosas e entre elas está o tráfico de armas.

No Brasil, noticiários dão conta que o furto e roubo de armas de vigilantes e empresas de segurança, além de muitas vezes da própria polícia, é uma prática comum, existindo inclusive quadrilhas especializadas nesse tipo de crime, causando grande prejuízo financeiro, além de aumentar a insegurança da população e a violência (PRADO, 2016).

### **3.1 Breve História da Indústria Automobilística no Brasil**

As primeiras montadoras de veículo chegaram ao Brasil no século XX, desde então o automóvel passou a fazer parte da vida do brasileiro. A Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (ANFAVEA, 2022) conta que, antes disso, o primeiro carro motorizado chegou ao Brasil em 1898. Desembarcado no porto de Santos (SP), o modelo Peugeot Type 3 foi importado pelo inventor do avião, Santos Dumont. Este, no entanto, não foi o primeiro carro emplacado no país. O conde Francisco Matarazzo, em 1903, foi o proprietário do automóvel de placa número 1.

O Brasil não produzia veículos até a metade do século 20. A frota de carros era 100% importada, havia apenas duas montadoras, a Ford e a General Motors. Porém duas iniciativas foram primordiais para as mudanças que estavam por vir, as inaugurações da Companhia Siderúrgica Nacional (CSN) e da Fábrica Nacional de Motores (FNM), ambas no estado do Rio de Janeiro. O período de 1947 a 1952 foi marcado por restrições governamentais que barravam as importações de veículos automotores e autopeças. Nesse período, o governo fez investimentos com a finalidade de alavancar o setor automotivo local (ANFAVEA, 2022)

No governo de Juscelino Kubitschek, em 1956, foi criado o Grupo Executivo da Indústria Automobilística (GEIA), pelo decreto nº 39.412. Esse grupo estabeleceu regulamento e condições viabilizando a implantação da indústria nacional de automóveis. Em apenas uma década, as mudanças foram surpreendentes. O Brasil, que contava com 250 fabricantes de autopeças e 3 montadoras, passou a abrigar 1200 fábricas de autopeças e 11 fábricas de veículos (ANFAVEA, 2022).

A ANFAVEA (2022) também relata que a Volkswagen, a Mercedes-Benz e a Willys-Overland estavam entre os primeiros fabricantes nacionais após as restrições de importação.

A Romi lança, em 1956, o primeiro carro 100% nacional, a Romi-Isetta. Era um modelo de dois lugares para uso urbano, com pequenas rodas, apenas uma porta e motor semelhante ao de uma motocicleta. No mesmo ano, a Vemag lança a camioneta DKW, com produção totalmente nacional (ANFAVEA, 2022).

Lima (2017, *apud* MIZIARA e BARROS, 2008) ressalta que, com a chegada dos grandes fabricantes de automóveis no Brasil, surgiu a necessidade do controle unitário dos veículos produzidos, porém, não havia uma padronização na codificação dos veículos. A Volkswagen utilizava uma marcação de seis dígitos, depois mudou para sete, por exemplo. Enquanto a Ford e a General Motors (GM) usavam onze caracteres, a Fiat identificava seus veículos com doze.

### 3.1.1 Legislação aplicada à identificação veicular

O número do chassi é o documento de identidade do veículo que tem por objetivo facilitar seu rastreamento em casos de acidente, furto ou roubo e transações de compra e venda. Ele não se repete e, desde 1981, é composto por 17 caracteres, números e letras. A sequência alfanumérica que compõe o chassi, número de identificação do veículo (NIV), traz várias informações importantes, como o modelo e a versão do automóvel, além de onde e quando ele foi produzido (Figura 12). Esse sistema de numeração segue as referências mundiais quanto à identificação veicular especificada nas normas internacionais ISO 3779 e ISO 3780 (LIMA, 2017).

Figura 12 – Dados especificados no NIV



Fonte: Tomé e Gomes, 2022

A Resolução 24/1998 CONTRAN (Conselho Nacional de Trânsito) estabelece o critério de identificação de veículos, a que se refere o art. 114 do Código de Trânsito Brasileiro (CTB), com especificações vigentes e formatos estabelecidos pela NBR 3 nº 6066 da Associação Brasileira de Normas e Técnicas (ABNT), que uniformiza a estrutura, contendo, localização e fixação do NIV ou VIN (Vehicle Identification Number). A partir da publicação dessa resolução, o 10º dígito do VIN passou a indicar o ano modelo do veículo.

Além da gravação obrigatória do VIN no chassi ou monobloco, em pelo menos um ponto de localização, a resolução também determina a gravação do VIS (número sequencial de produção), em plaqueta ou adesivo destrutíveis quando de sua remoção, nos vidros e compartimento do motor, apresentando informações como ano, local de fabricação e número de série.

O Art. 2º dessa resolução explana sobre a profundidade mínima obrigatória da gravação do VIN:

**Art. 2º.** A gravação do número de identificação veicular (VIN) no chassi ou monobloco, deverá ser feita, no mínimo, em um ponto de localização, de acordo com as especificações vigentes e formatos estabelecidos pela NBR 3 nº 6066 da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, em profundidade mínima de 0,2 mm.

### 3.2 Indústria e identificação das Armas de Fogo

As primeiras armas de fogo eram instrumentos bastante rudimentares, que funcionavam com um princípio simples de confinamento da pólvora em um tubo dotado de um orifício por onde era aplicada uma chama e, pela rápida e violenta produção de gases, resultava na propulsão do projétil. Com o desenvolvimento da indústria, principalmente no final do século XIX e início do século XX, passaram a ser produzidas por elaborados processos de fabricação (BATISTA, 2019).

Batista (2019) complementa que, com o advento da indústria de material bélico e a produção em série de armas de fogo, foi necessário que se criasse uma forma de controle da fabricação e distribuição desse material. Antes disso, as AF eram personalizadas e traziam o nome do proprietário gravado na sua estrutura.

Criou-se, portanto, uma marcação que pudesse auxiliar os operadores da segurança pública na tarefa de rastrear e controlar essas armas, o número de série (TOCCHETTO, 2016).

Conforme Tocchetto (2016), cada indústria adota o seu padrão de composição do número de série, ou seja, a forma, o processo de gravação e o tamanho podem mudar, com o passar do tempo, dentro de uma mesma fábrica e de uma fábrica para outra. Porém, Batista (2019) ressalta que a gravação do número de série, geralmente composta de números e letras, é obrigada e regulamentada pela legislação brasileira.

A portaria 07 do Departamento de Logística (D-LOG) do Exército Brasileiro, de 28 de abril de 2006, instituiu no art. 5º, inciso IV, a obrigatoriedade da marcação do número de série, como se segue: “Art. 5º - As armas fabricadas no país deverão apresentar as seguintes marcações [...] IV - número de série impresso na armação, no cano e na culatra, quando móvel [...]”.

A forma de gravação do número de série no Brasil também é disciplinada por essa portaria, mais especificamente nos § 1º, § 2º e § 3º do art. 5º que deverá apresentar as seguintes marcações:

§ 1º As marcações presentes nas armas poderão ser feitas a laser, com exceção do número de série nas armas fabricadas com materiais metálicos e nas armações feitas em polímero o sistema de marcação deverá ser previamente submetido à aprovação da fiscalização militar.

§ 2º As marcações deverão ter profundidade de 0,10mm mais ou menos 0,02mm.

§ 3º O número de série deverá ser impresso nos componentes metálicos por meio de deformação mecânica, com profundidade de 0,10mm mais ou menos 0,02mm.

Os fabricantes de armamentos adotam seu próprio critério para a escolha do local no qual será feita a gravação, que varia de acordo com o modelo da arma. Por exemplo, nos revólveres da marca Taurus, o número de série é gravado na região anterior da lateral direita da armação e no cano. Nas armas da marca IMBEL (Indústria de Material Bélico do Brasil), ele fica no lado direito da armação das pistolas (região anterior) e, na caixa da culatra, nas carabinas e fuzis. Os modelos 151 e 651 de espingardas da CBC (Companhia Brasileira de Cartuchos) possuem o número de série gravado no subconjunto do cano e na parte inferior da caixa da culatra (TOCCHETTO, 2016).

O Brasil tem dois sistemas de registro de armas, o Sistema Nacional de Armas (SINARM) do Departamento de Polícia Federal; e, o Sistema de Gerenciamento Militar de Armas (SIGMA) do Exército Brasileiro. O Certificado de Registro de Arma de Fogo (CRAF) é o documento de identidade da arma, (Figuras 13a e 13b), que mostra as informações básicas dela e do proprietário.

Figura 13a – CRAF emitido pelo SINARM

The image shows two versions of the Certificado de Registro de Arma de Fogo (CRAF) issued by the SINARM system. The left document is a valid one, featuring the coat of arms of Brazil and the text 'REPUBLICA FEDERATIVA DO BRASIL', 'MINISTÉRIO DA JUSTIÇA', 'DEPARTAMENTO DE POLÍCIA FEDERAL', 'SINARM - SISTEMA NACIONAL DE ARMAS', and 'CERTIFICADO DE REGISTRO DE ARMA DE FOGO SR/DPP/RS'. It includes fields for 'Nº do Registro', 'Data de Validade', 'Proprietário', 'CPF', and 'Doc. Identificação'. The bottom of the document states 'SINARM: 2014/006470424-62' and 'VALIDO EM TODO TERRITÓRIO NACIONAL'. The right document is an invalid one, with the same header but a different layout. It lists technical specifications: 'Nº Cad. SINARM', 'Espécie', 'Marca', 'Modelo', 'Nº da Arma', 'Calibre: 380', 'Capacidade de Tiros', 'Funcionamento: SEMI-AUTOMÁTICO', 'Acabamento', 'Quantidade de Canos', 'Comprimento dos Canos', 'Tp. de Arma: RAIADA', 'Qt. de Raias: 6', 'Snt. das Raias: DIREITO', 'País de Fabricação', and 'Nº da NF'. It is dated 'PORTO ALEGRE/RS, 27 DE MARÇO DE 2014' and signed by 'DPF MARCELO SIMÕES PIRES PICARELLI, CHEFE DELEGAÇÃO SINARM/SR/RS'. The bottom of this document states 'NÃO VALIDO COMO IDENTIFICAÇÃO'.

Fonte: Oficina Atirando, 2022

Figura 13b – CRAF emitido pelo SIGMA

The image shows two versions of the Certificado de Registro de Arma de Fogo (CRAF) issued by the SIGMA system. The left document is a valid one, featuring the coat of arms of Brazil and the text 'MINISTÉRIO DA DEFESA', 'EXERCITO BRASILEIRO', and 'CERTIFICADO DE REGISTRO DE ARMA DE FOGO'. It includes fields for 'NOME', 'CPF', 'RG', 'ÓRGÃO EXP.', 'VALIDADE DO PAF', and 'ABRANGÊNCIA PARA PORTE NACIONAL'. The bottom of the document states 'AUTORIZADO A PORTAR A ARMA DE FOGO DESCRITA NESTE DOCUMENTO' and 'OBRIGATORIA A APRESENTAÇÃO NA CARTEIRA DE IDENTIDADE'. The right document is an invalid one, with the text 'REGISTRO' and 'BR NR. 18 DE 10/06/2008, CMDO 111/R III'. It includes fields for 'TIPO', 'MARCA', 'CALIBRE', 'Nº SÉRIE', 'Nº ESCOVA', and 'DATA DE EMISSÃO'. A red stamp on the right side of this document reads 'Órgão que publica o Boletim'. The bottom of this document features the 'MD' logo and the text 'Assessoria de imprensa designada pelo comandante geral'.

Fonte: Corpo de Bombeiros Militar do Espírito Santo, 2022:

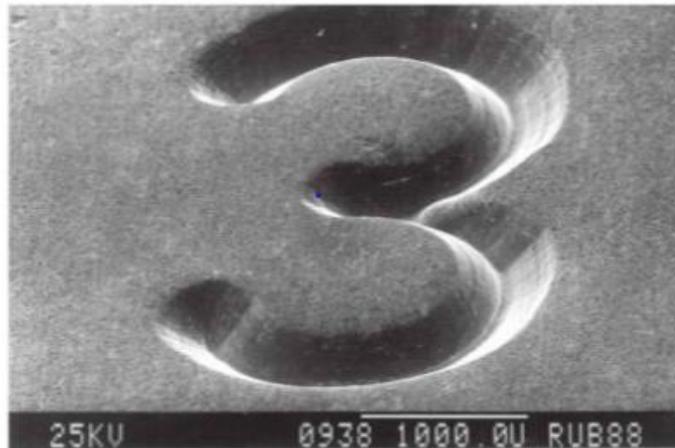
### 3.3 Métodos de marcação

Existem algumas formas de marcação que são realizadas nos veículos e armas que variam conforme o material que está sendo utilizado. A indústria automobilística utiliza aço e ligas de alumínio em algumas peças, da mesma forma, os fabricantes de arma de fogo fazem algumas partes da arma de aço e outras de alumínio (KUPPUSWAMY, 2011).

Conforme Stuffer e Bonfanti (2006), dentre os métodos de marcação, podem-se citar:

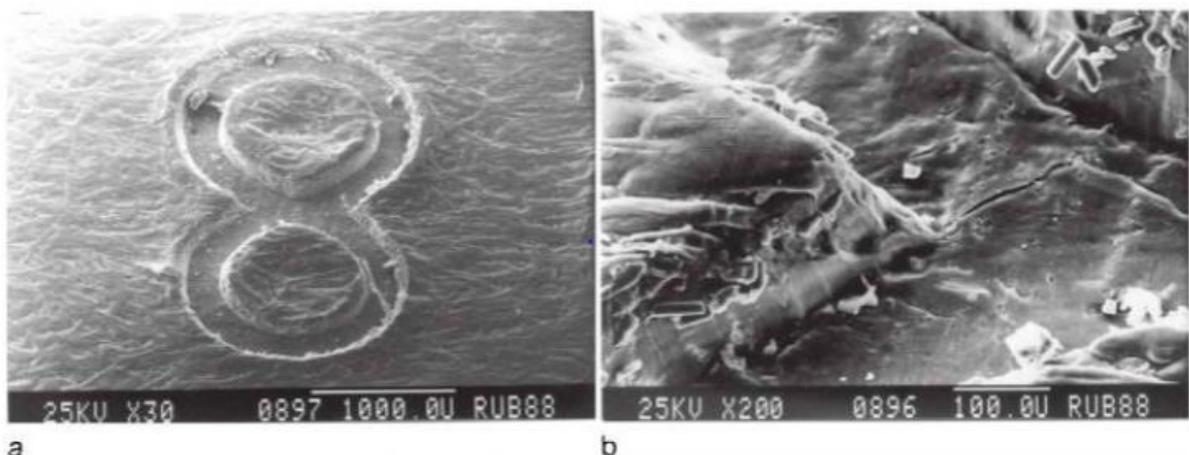
- a) Estampagem: a frio, no caso de metais (Figura 14), e a quente para polímeros (Figura 15). A resistência interna e superficial do material vai determinar a pressão que deverá ser aplicada pelo punção.

Figura 14 – Marcação por estampagem a frio em aço inoxidável. Profundidade da marcação 260 $\mu$ m



Fonte: Stuffer e Bonfanti, 2006

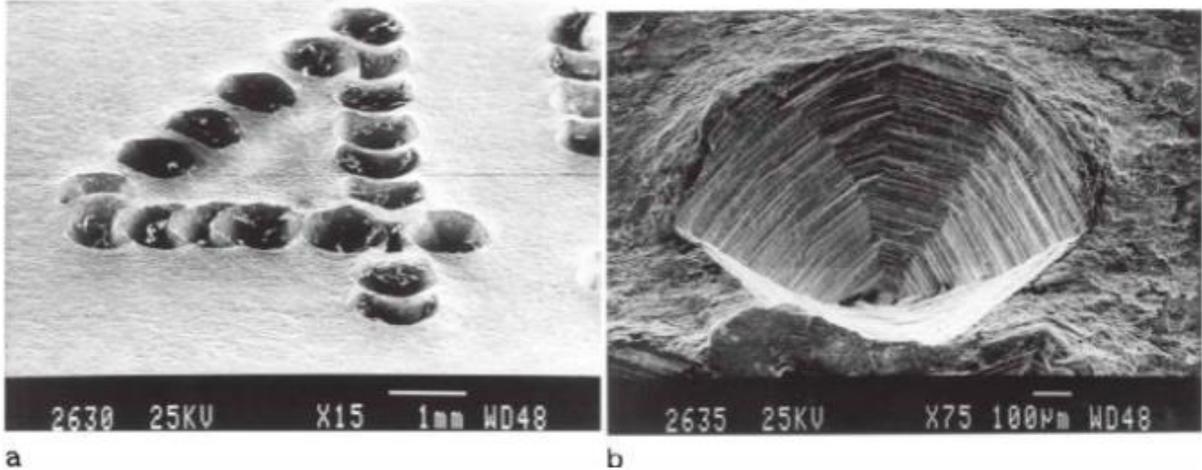
Figura 15 – Marcação por estampagem a quente (a) em resina epóxi, (b) deformação plástica apresentando trincamento da matriz polimérica frágil. Profundidade da marcação 50 $\mu$ m



Fonte: Stuffer e Bonfanti, 2006

- b) Método de puncionamento (*pin stamp*): um pino realiza marcações lado a lado, por meio de golpes, até a formação do caractere desejado (Figura 16). Este método é bastante utilizado na gravação do NIV.

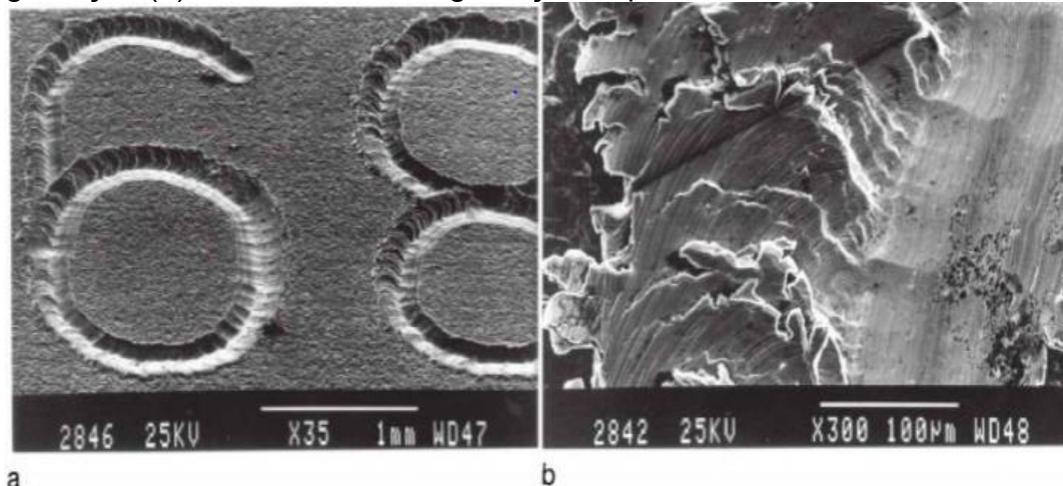
Figura 16 – Puncionamento realizado em aço baixa liga (a), acúmulo de material ao redor da marcação (b). Profundidade da marcação 320 $\mu$ m



Fonte: Stuffer e Bonfanti, 2006

- c) Gravação: são retiradas lascas por meio de uma ponta que faz movimentos giratórios enquanto risca a peça(Figura 17).

Figura 17 – Gravação em aço baixa liga (a), direção giratória no momento da gravação (b). Profundidade da gravação 32 $\mu$ m



Fonte: Stuffer e Bonfanti, 2006

### 3.4 Formas de adulteração

Objetivando dificultar o rastreamento e identificação dos veículos e armas subtraídos, criminosos costumam adulterar a numeração serial gravada por meio de diversas formas. Cecere (2010) cita algumas delas:

- a) remoção total ou parcial: ocorre por meio de ação contundente, abrasiva, como lixamento ou esmerilhamento, perfuração ou brocagem. É o método geralmente utilizado nas armas de fogo;
- b) regravação: pode ocorrer no todo ou em parte, utilizando os mesmos meios da remoção, porém é feita uma nova gravação com outros caracteres;
- c) implante: também chamado de transplante, consiste no corte e retirada de parte da peça onde se encontra a numeração e colocação de chapa metálica com gravação de número distinto;
- d) recobrimento: encobrimento, parcial ou total, do número com massa plástica ou liga metálica de baixo ponto de fusão, como estanho, e posterior gravação de novo número;
- e) adulteração simples: trata-se da alteração de um ou mais caracteres modificando sua forma original para outra de contorno semelhante, como por exemplo, "P" para "R", "3" para "8", "F" para "E", "5" para "6";
- f) remontagem: colocação de uma das partes de um veículo, onde se encontra o NIV, em outro;
- g) sobreposição: refere-se à colocação de chapa metálica, ocultando a numeração original, com caracteres diferentes da real.

### **3.5 Deformação plástica**

Segundo Kuppuswamy (2011), para que a restauração de uma numeração obliterada seja possível, é necessário que ainda esteja presente, em áreas adjacentes às marcações, uma zona de deformação física, que é causada pelo processo de gravação. Em qualquer uma das técnicas de marcação explanadas anteriormente ocorre uma deformação que não é visível a olho nu (Figura 18a).

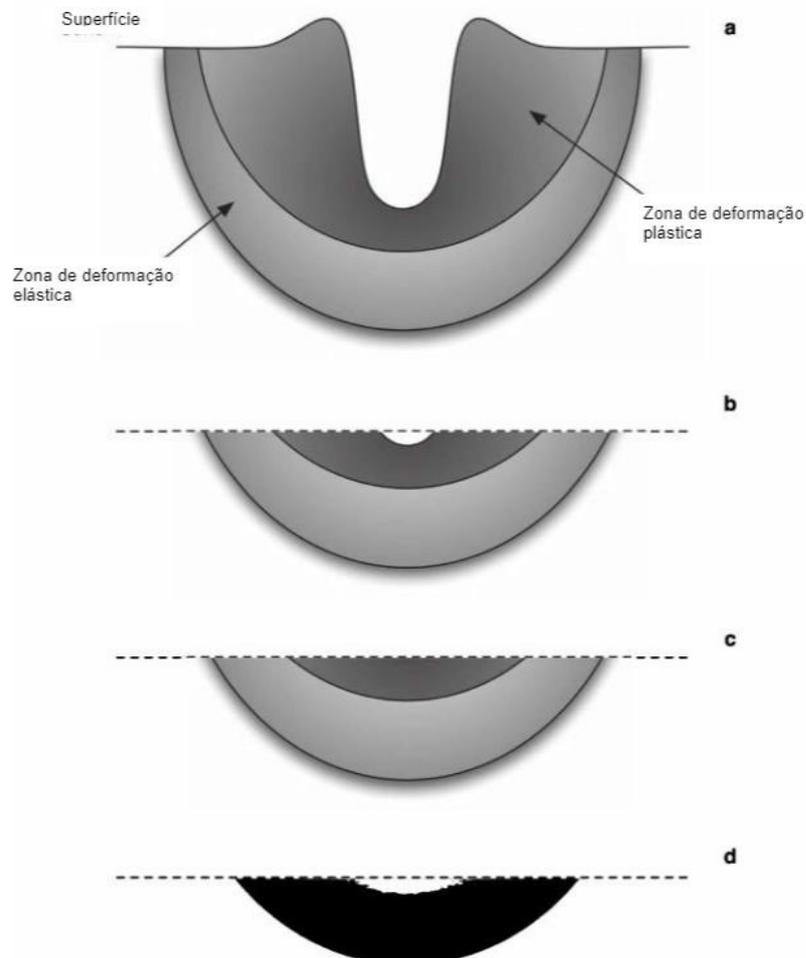
É chamado de zona de deformação plástica a área que foi comprimida pela impressão e permanece tensionada permanentemente mesmo depois de cessada a pressão aplicada sobre ela. Esta área tensa, onde ocorre o deslocamento dos átomos ou moléculas para novas posições no reticulado, se estende por uma distância considerável abaixo da superfície da marca perfurada (THORNTON, 1976).

A profundidade dessa zona de deformação, que é determinada pela dureza do metal e pela pressão aplicada sobre a peça, é de extrema importância para o êxito

das técnicas utilizadas. Ela é considerada essencial para que a restauração da numeração original seja mais rápida e visível. Em cada tipo de material, essa zona atinge uma profundidade diferente, no zinco, por exemplo, atinge 20 vezes a profundidade da marcação, no aço chega a 6 vezes, e, no alumínio, 2 a 3 vezes (KUPPUSWAMY, 2011).

A figura 18b representa a situação em que o caractere é removido parcialmente, pois o material produzido na limagem ou lixamento se acumulou na cavidade fazendo o criminoso crer que o havia obliterado completamente, nesse caso, a numeração é observada somente com a limpeza da superfície metálica. Mesmo que haja a total remoção da cavidade, a presença da zona de deformação ainda possibilita a recuperação da marcação (Figura 18c), porém se for cavada até a total remoção dessa área, não haverá mais possibilidade de recuperação dos caracteres por nenhuma técnica (STAUFFER e BONFANTI, 2006).

Figura 18 – Seção transversal de caractere estampado em metal



Fonte: Stauffer e Bonfanti, 2006

### 3.6 Ataque Químico

Stauffer e Bonfanti (2006) reforçam que existem diversas técnicas, destrutivas e não destrutivas, para resgatar as informações perdidas, tais como ataque químico, tratamento térmico, cavitação ultrassônica, partículas magnéticas, dentre outras; cujo sucesso depende do tipo de material, no qual a gravação foi realizada, e da severidade da obliteração, como já foi dito anteriormente. Os métodos não destrutivos apresentam a vantagem de não alterarem a superfície do material, porém o ataque químico é o método mais comum para a recuperação de números seriais em materiais metálicos.

O ataque químico tem por objetivo permitir a identificação dos contornos dos grãos e as diferentes fases da microestrutura. Inicialmente é feito o lixamento da peça, com lixas de gramaturas diferentes, em seguida realiza-se o polimento. Depois dessa etapa é necessário limpar a peça com líquidos de baixo ponto de ebulição e, logo após, realizar a secagem utilizando um jato de ar quente paralelo à superfície do metal. Um reagente ácido é colocado em contato com a superfície da peça por certo tempo causando uma corrosão. Os reagentes são escolhidos em função do material e dos constituintes macroestruturais que se deseja contrastar na análise metalográfica microscópica. Há uma enorme variedade de reagentes para diferentes tipos de metais e situações (ULI *et al*, 2011). Após a etapa de ataque químico, a peça está pronta para ser observada.

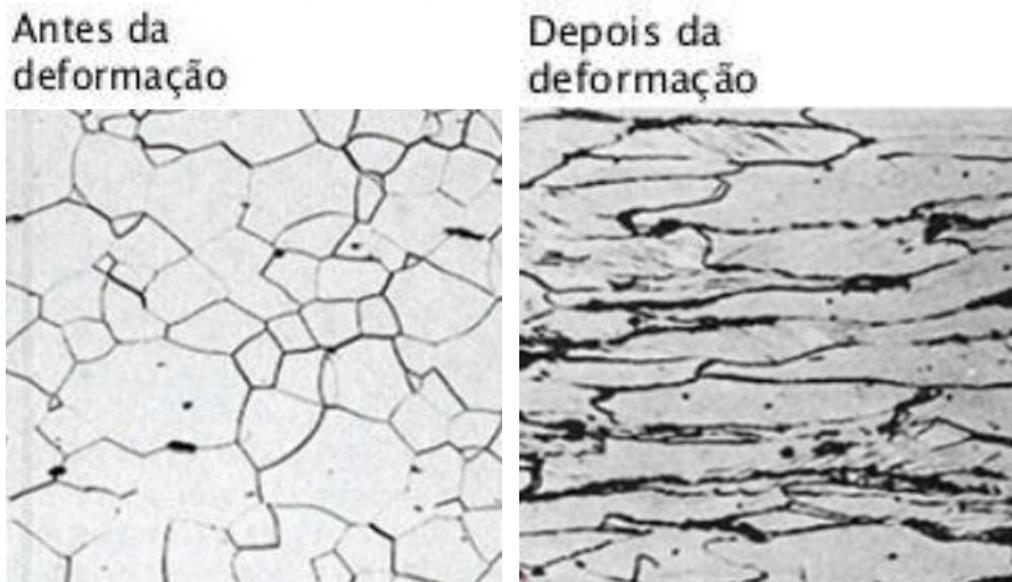
Thornton (1976) explica que quando a deformação plástica acontece abaixo da temperatura de recristalização de um metal, diz-se que o metal é “trabalhado a frio. O processo de trabalho a frio altera as propriedades físicas do metal, aumentando sua dureza e resistência à tração e diminuindo a maleabilidade e ductilidade. Além dessas mudanças, a posição do metal na série eletromotriz é elevada, resultando em uma diminuição da resistência à oxidação química em geral, e às ações de ácidos em particular. O significado prático deste fenômeno é que as áreas de uma marca obliterada que foram gravadas pelo processo de estampagem serão oxidadas pela solução de ataque mais rapidamente que o metal circundante.

Todo metal ou liga contém irregularidades na estrutura atômica. As irregularidades mais comuns consistem em deslocamentos, que são um desalinhamento dos planos atômicos, e defeitos pontuais, que são "buracos" ou áreas em que falta um átomo. Essas irregularidades estão associadas a uma certa energia

livre. Quando a rede cristalina de um metal é perturbada por um processo de trabalho a frio, como a estampagem de números de série, ocorre um aumento da energia livre interna. Isso resulta em um aumento na densidade eletrônica no espaço intersticial da rede do metal deformado. O aumento da densidade eletrônica implica um certo enfraquecimento das ligações químicas, com conseqüente tendência à oxidação (THORNTON, 1976 *apud* GUBKIN, 1960).

A ruptura da rede cristalina também resulta na formação de cristais um pouco menores que, segundo Thornton (1976) se dispõem de forma caótica. As ligações atômicas são rompidas e refeitas, muitas vezes de maneira diferente de antes do processo de formação original. O processo então resulta na chamada mudança no grão (Figura 19).

Figura 19 – Deformação dos grãos do metal

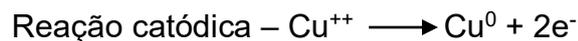


Fonte: Kayasima, 2021. Adaptada pelo autor

### 3.6.1 Ataque químico do aço

Thornton (1976, *apud* BLOOR, 1962) explica que o aço, uma liga metálica de vários elementos, apresenta algumas particularidades. Ele sempre é composto por ferro e carbono. Níquel, manganês, cromo, cobalto, vanádio e molibdênio podem ser incluídos propositalmente para modificar as propriedades do aço, enquanto o enxofre e fósforo estão invariavelmente presentes como impurezas. Esses componentes estão ligados no nível atômico por ligações químicas específicas que são afetadas de

forma diferente por reagentes químicos. Ácidos fortes, como o clorídrico e o sulfúrico, atacam rapidamente o sulfeto de manganês, acarretando surgimento de espaços vazios na rede que eram ocupados pelo metal. Sais de cobre, que são muito utilizados em reagentes de corrosão para o aço, são reduzidos a cobre metálico por áreas do metal ricas em ferro ou deficientes em fósforo. As reações químicas que envolvem esse fenômeno são as de oxirredução.



A solução de ataque não atua uniformemente nas diferentes faces dos cristais ou em diferentes áreas do grão, desse modo, o ácido agirá inicialmente nos contornos de grão em maior extensão porque eles representam regiões de maior energia do que o interior dos grãos. O detalhe estrutural nas áreas afetadas pelo processo de estampagem é revelado pela remoção seletiva de porções de superfície para baixo, resultante das diferentes taxas de solubilidade dos vários constituintes do metal, e da orientação das faces dos cristais (THORNTON, 1976).

### **3.6.2 Visualização após ataque químico**

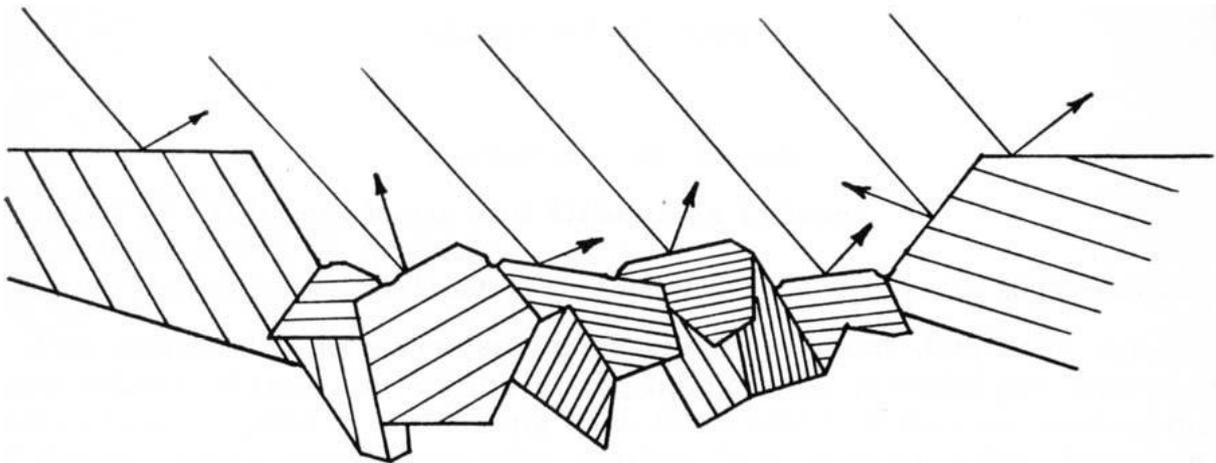
Ao incidir a luz sobre a superfície metálica polida há uma reflexão uniforme, no entanto, o reagente ácido ocasiona um contraste que permite a visualização dos detalhes da estrutura, já que a luz é refletida de maneiras diferentes, dando tonalidades distintas para as fases e realçando o contorno dos grãos. Isso torna mais fácil a visualização e interpretação da amostra. Pode-se, então, dizer que o principal mecanismo pelo qual a marcação é visualizada é a reflexão especular (THORNTON, 1976).

Tomando como base a figura 20, Thornton (1976, *apud* CRAWFORD, 1965) levantou as seguintes considerações:

- a) área de amostra de aço trabalhada a frio, resultante da estampagem do número de série, é muito mais atacada do que o metal circundante;
- b) a solução de decapagem atua removendo seletivamente certos componentes do aço, sobre as faces dos diferentes cristais, atacando, em maior extensão, os contornos de grão do que as outras porções de grão;

- c) a luz incidente nesta área é refletida de forma diferente, resultando em uma imagem visual da área afetada;
- d) a diferença de refletividade delinea as áreas de descontinuidade, ou seja, mostra os contornos de grãos que separam o metal afetado do que não é afetado.

Figura 20 – Luz atingindo uma superfície de metal após ataque ácido



Fonte: Thornton, 1976

### 3.6.3 Composição de alguns reagentes de ataque químico

Segundo Stauffer e Bonfanti (2006), nos últimos anos, diversos testes empíricos resultaram em listas de reagentes apropriados para cada tipo de material (Tabela 2). O ataque pode ser feito por imersão na solução ou por esfregação com algodão. O ataque macrográfico, bastante utilizado na ciência forense, permite a visualização dos caracteres originais.

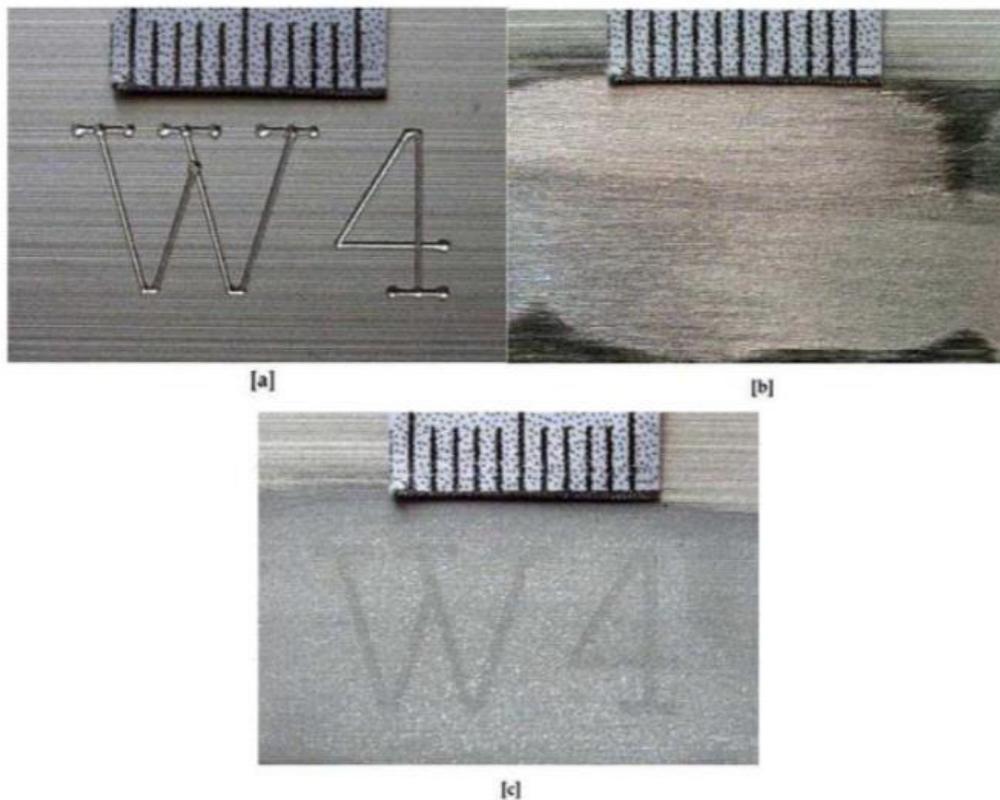
A figura 16 (a) apresenta a restauração de caracteres em uma amostra de alumínio 99% puro, (b) seguida de lixamentos dos caracteres até a profundidade de 0,02 mm e (c) recuperação após ataque alternado de HCl 60% e NaOH 40%.

Tabela 2 – Reagentes mais utilizados na restauração de marcações

Material	Reagente	Detalhes
Ferro fundido e aço	Reagente de Fry	90g $\text{CuCl}_2$
		120ml HCl
		100ml água
Aço inoxidável	Cloreto Férrico acidificado	5g $\text{FeCl}_3$
		50ml HCl
		100ml água
Liga de alumínio	Hidróxido de sódio diluído	10g NaOH
		90g água
Latão e cobre	Cloreto Férrico acidificado	19g $\text{FeCl}_3$
		6ml HCl
		100ml água

Fonte: Stauffer e Bonfanti, 2006

Figura 21 – Restauração em amostra de alumínio



Fonte: Kuppuswamy (2011)

O reagente de *Fry* é um dos mais utilizados para revelação de numeração obliterada em chassis e armas, tendo em vista que a maioria das empresas automotivas e os fabricantes de armas usam aço como principal elemento em seus produtos.

Conforme afirma Thornton (1976), dentre os reagentes de ataque que são mais recomendados para ligas de alumínio, está o hidróxido de sódio em diferentes concentrações.

Segundo Uli (2011), foi feito um estudo das características da restauração de marcas gravadas obliteradas em superfícies de alumínio pela técnica de ataque químico. Uma folha de alumínio, de 0,61 mm de espessura (99% em peso), foi dividida em partes, nas quais foram gravadas marcações e, em seguida, obliteradas em diferentes profundidades. Ao usar diferentes reagentes, descobriu-se que o reagente ácido clorídrico a 60% e hidróxido de sódio a 40%, em esfregaços alternados nas superfícies, foi considerado o mais sensível em todas as profundidades. Este reagente foi capaz de restaurar as marcações apagadas até 0,04 mm abaixo da parte inferior da gravação. As marcas também apresentaram excelente contraste com o fundo. O mesmo reagente foi ainda experimentado com superfícies de alumínio semelhantes, mas de espessura relativamente maior, 1,5 mm. Observou-se que a profundidade de recuperação aumentou ligeiramente para 0,06 mm; isto sugeriu a dependência da profundidade de recuperação com a espessura da chapa metálica. Além disso, a profundidade da restauração diminuiu nos casos em que a numeração original foi apagada e, sobre ela, um novo número foi gravado. Resultados semelhantes foram observados em superfícies de aço.

#### 4 CONCLUSÃO

Diante dos dados explanados nesta pesquisa, pode-se concluir que a aplicação da técnica de exame residuográfico que faz uso do reagente rodizonato de sódio, apesar de ter um custo menor, é passível de falso-negativo devido a quantidade e tamanho das partículas geradas no disparo por arma de fogo. A utilização da microscopia eletrônica de varredura com detector de energia de dispersão de raio X é, portanto, mais sensível. Esta técnica não deixa dúvida quanto a análise de resíduo de tiro, sendo eficiente na determinação da morfologia e composição química da partícula.

A análise metalográfica de identificação de marcação obliterada requer o uso de reagentes específicos para cada composição do metal a ser atacado. A profundidade da marcação é fator preponderante para o êxito da técnica, uma vez que a deformação plástica que permaneceu após a obliteração será essencial na revelação por ataque químico. Este método mostra resultados eficientes, mas depende da profundidade do desgaste que a obliteração causou à gravação.

## REFERÊNCIAS

- ABREU, Renato M. et al. Análise em microscopia eletrônica de varredura (MEV) de resíduo de tiro. **Revista Militar de Ciência e Tecnologia**, v. 34, n. especial, p. 10-12, 2017. Disponível em: <http://ebrevistas.eb.mil.br/CT/article/view/8670>. Acesso em 25 jun 2022.
- ANFAVEA, Associação Nacional de Veículos Automotores. **Linha do Tempo: Acompanhe a História da Indústria Automotiva Brasileira**. Disponível em: <https://anfavea.com.br/site/historia-da-industria-automotiva/>. Acesso em 07 jul 2022.
- BARRETO-RODRIGUES, Marcio; SILVA, Flávio Teixeira da; PAIVA, Teresa Cristina Brasil de. Caracterização física, química e ecotoxicológica de efluente da indústria de fabricação de explosivos. **Química Nova**, v. 30, p. 1623-1627, 2007.
- BATISTA, Rivelino B de Sousa. **Ensaio não destrutivo para recuperação de numeração obliterada em armas de fogo**. Dissertação de Mestrado. Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.
- BERNAL, Volnys B; GUELF, Airton; PERITO, O. Prerícia Judicial 2004.
- BRASIL. **Decreto-Lei Nº 3.689 de 3 de outubro de 1941**. Código de Processo Penal (CPP). Brasília, DF: Casa Civil, 1941. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/decreto-lei/del3689compilado.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto-lei/del3689compilado.htm). Acesso em 25 jun 2022.
- BRASIL. **Portaria Nº 07 -D Log, de 28 de abril de 2006**. Aprova as Normas Reguladoras para Definição de Dispositivos de Segurança e Identificação das Armas de Fogo Fabricadas no País, Exportadas ou Importadas. Ministério da Defesa, Exército Brasileiro, Departamento de Logística (D-Log/2000).
- BRASIL. Resolução Nº 24 de 21 de maio de 1998. Estabelece o critério de identificação de veículos, a que se refere o artigo 114 do Código de Trânsito Brasileiro. Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN). **Diário Oficial da União**. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=96408>. Acesso em 07 jul 2022.
- CECERE, Antônio Vitorio. Estudo de Medidas Para a Melhoria da Identificação Veicular no Brasil. **Escola Politécnica da Universidade de São Paulo**, 2010.
- CHEMSPIDER, **Royal Society of Chemistry**, Lead Styphnate. 2022. Disponível em <http://www.chemspider.com/Chemical-Structure.55674.html>. Acesso em 26 jul de 2022.
- COSTA, Rayane Alvarenga. **Análise de resíduo de disparo de armas de fogo utilizando ICP-MS: caracterização de munições limpas**. 2016. Dissertação de mestrado. Centro de Ciências Exatas da Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória.

DESTEFANI, Caline. Airão. **Síntese, Aplicação e Avaliação da Toxicidade Aguda de Complexo Orgânico à Base de Európio Proposto como Marcador Fotoluminescente para a Identificação de Resíduos de Tiro**. 2014. Dissertação de mestrado – Centro de Ciências Exatas da Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória.

DINAMARCO, Cândido R., **Instituições de direito processual civil** Malheiros Editores, 2020. 10ª ed. p. 384 – 398.

FRANK, Paulo Ricardo Ost. **Caracterização dos resíduos de disparo e das alterações em fibras de tecidos atingidos por tiros de arma de fogo com microscopia eletrônica de varredura e espectrometria de raios X característicos**. 2016. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Ciências dos Materiais da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

INTERPOL, The International Criminal Police Organization. Crime de Veículo e Tráfico de Armas de Fogo, 2022. Disponível em: <https://www.interpol.int/>. Acesso em 05 jul 2022.

KAYASIMA, Juliana. **Estudo Comparativo do Comportamento Mecânico de um Aço 1006 em Diferentes Ciclos De Tratamento Térmico em Forno Contínuo Industrial**, 2021. Trabalho de Conclusão de Curso. Instituto de Ciência e Tecnologia da Universidade Federal de São Paulo, São José dos Campos.

KUPPUSWAMY, R. Metallographic etching of aluminium and its alloys for restoration of obliterated marks in forensic science practice and investigations. **Aluminium Alloys, Theory and Applications**, v. 58, n. 1, p. 331 - 352, 2011.

LIMA, A. S. *et al.* **Revista Eletrônica-UNISEP**. Gestão em Foco, 2011, Química Forense. p 1 – 15.

LIMA, Erick Bloise. **Determinação do grau de encruamento ocasionado pela gravação do Número de Identificação Veicular (NIV) e suas consequências**. 2017. Dissertação de mestrado. Centro de Tecnologia e Ciências da Universidade do Estado do Rio de Janeiro.

LUCENA, Marcella Auxiliadora de Melo. **Síntese, Caracterização e Avaliação do Sistema  $ZnAl_2O_4: TR^{3+}$  como Marcador Luminescente para Resíduo de Tiro**. 2012. Dissertação de mestrado. Centro de Ciências Exatas e da Natureza da Universidade Federal de Pernambuco, Recife.

MARTINEZ, Michael V. **Forensic Science**. International Association of MicroAnalysis. Disponível em: [forensicevidence.net/iama.html](https://forensicevidence.net/iama.html). Acesso em 25 jun 2022

MARTINY, Andrea; PINTO, André Luiz. Aplicação da microscopia eletrônica de varredura à análise de resíduos de tiro. **C & T**, v. 2008, 2005. p. 24-35.

MINUTO SEGUROS. No Brasil, um carro é roubado a cada minuto, 2019 Disponível em: <https://www.minutoseguros.com.br/blog/no-brasil-carro-e-roubado-minuto/>. Acesso em 11 jul 2022.

OLIVEIRA, Fernanda Feitosa de Souza. **Estudo da deposição de GSR em indivíduos presentes em uma cena de crime por meio da análise de partículas luminescentes**. 2020. Dissertação de mestrado. Instituto de Química da Universidade de Brasília, Brasília.

OLIVEIRA, Marcelo Firmino de. Química Forense: a utilização da química na pesquisa de vestígios de crime. **Química Nova na Escola**, n. 24, 2006. p.17-19.  
PINTO, André Luiz *et al.* Avaliação de um procedimento alternativo para coleta e análise por MEV/EDS de resíduos provenientes de disparo de arma de fogo. **Prova Material**. Revista Científica do Departamento de Polícia Técnica da Secretaria de Segurança Pública da Bahia, v. 2, n. 6, p. 7-11, 2005.

PRADO, J., CPI das Armas: desvios e roubos são uma incógnita, **Jornal O Dia**, 2016. Disponível em: <https://odia.ig.com.br/rio-de-janeiro/2016-04-29/cpi-das-armas-desvios-e-roubos-sao-uma-incognita.html>. Acesso em 11 jul 2022.

PUBCHEM. **National Library of Medicine**, Sodium Rhodizonate. 2022. Disponível em: [pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Sodium-rhodizonate](https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Sodium-rhodizonate). Acesso em 26 jul 2022

REBOLEIRA, Nuno Gonçalo Inácio. **Caracterização química de resíduos de pólvora na identificação de munições**. 2013. Dissertação de mestrado. Departamento de Química e Biologia da Universidade de Lisboa.

REIS JÚNIOR, Almir Santos; CASTRO, Mariana de Almeida. DAS PROVAS PERICIAIS NO PROCESSO PENAL BRASILEIRO. **Revista Diálogos & Saberes**, v. 9, n. 1, p. 181-196, 2013.

RODRIGUES, Cláudio V, SILVA, Márcia T da, TRUZZI, Oswaldo M S, **Perícia criminal: uma abordagem de serviços**. *Gestão & Produção* [online]. 2010, v. 17, n. 4, pp. 843-857.

SACHETO, Cesar. Roubo de veículos ultrapassa marca de 1 milhão no Brasil em 4 anos. R7, 2019. Disponível em: <https://noticias.r7.com/sao-paulo/roubo-de-veiculos-ultrapassa-marca-de-1-milhao-no-brasil-em-4-anos-11102019>. Acesso em 11 jul 2022.

SANTOS, André Luis Silva dos. **Caracterização de resíduos de disparo (GSR) de munição NTA: critérios morfológicos e químicos por microscopia eletrônica de varredura com espectrometria de raios X**. 2020. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Segurança Cidadã da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

SINDESP, Sindicato dos Agentes de Escolta e Vigilância Penitenciária do Estado de São Paulo. 2014. Disponível em [sindespe.org.br/portal/instrucao-belica-iii-qual-a-melhor-municao-a-ser-usada/](https://sindespe.org.br/portal/instrucao-belica-iii-qual-a-melhor-municao-a-ser-usada/). Acesso em 25 jun 2022

STAUFFER, Eric; BONFANTI, Mônica. **Forensic Investigation of Stolen – Recovered and Other Crime – Related Vehicles**, AP Elsevier, 2006.

THORNTON, J. I.; CASHMAN, P. J. The mechanism of the restoration of obliterated serial numbers by acid etching. **Journal of the Forensic Science Society**, v. 16, n. 1, p. 69-71, 1976.

TOCCHETTO, Domingos. Identificação das Armas de Fogo. *In*: TOCCHETTO, Domingos. **Balística Forense – Aspectos Técnicos e Jurídicos**. p. 125 – 136.

TOME, João D.; GOMES, Fernando. **Razão Automóvel**. Como decifrar o VIN (número de identificação) do nosso automóvel. 2022. Disponível em: [razaoautomovel.com/2022/01/vin-decifrar-codig-identificacao-automovel](https://razaoautomovel.com/2022/01/vin-decifrar-codig-identificacao-automovel). Acesso em 25 jun 2022

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

VANINI, Gabriela. **Análise de Resíduos de Disparos de Armas de Fogo usando ICP OES: desenvolvimento de uma nova metodologia analítica**. 2014. Dissertação de mestrado. Departamento de Química da Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória.