



## ESTUDO DE TÉCNICAS NÃO DESTRUTIVAS NA RECUPERAÇÃO DE MARCAÇÕES ADULTERADAS EM CHAPAS METÁLICAS

Mariana Gaudencio Barbosa Lima

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Metalúrgica e de Materiais, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Metalúrgica e de Materiais

Orientadoras: Gabriela Ribeiro Pereira  
Maria Cecília de Souza Nóbrega

Rio de Janeiro  
Fevereiro de 2018

ESTUDO DE TÉCNICAS NÃO DESTRUTIVAS NA RECUPERAÇÃO DE  
MARCAÇÕES ADULTERADAS EM CHAPAS METÁLICAS

Mariana Gaudencio Barbosa Lima

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO LUIZ  
COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA (COPPE) DA  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS  
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS EM  
ENGENHARIA METALÚRGICA E DE MATERIAIS.

Examinada por:

---

Profa. Gabriela Ribeiro Pereira, D.Sc.

---

Prof. João Marcos Alcoforado Rebello, D.Sc.

---

Prof. Elineudo Pinho de Moura, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL  
FEVEREIRO DE 2018

Lima, Mariana Gaudencio Barbosa

Estudo de técnicas não destrutivas na recuperação de marcações adulteradas em chapas metálicas/ Mariana Gaudencio Barbosa Lima. – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2018.

XVI, 92p.: il.; 29,7cm

Orientadoras: Gabriela Ribeiro Pereira

Maria Cecília de Souza Nóbrega

Dissertação (mestrado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, 2018.

Referências Bibliográficas: p. 88-90.

1. Restauração não destrutiva. 2. Adulteração. 3. Visualização magneto-óptica. 4. Partículas magnéticas. I. Pereira, Gabriela Ribeiro *et al.* II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia Metalúrgica e de Materiais. III. Título.

*“A vida deveria ser uma celebração contínua, um festival de luzes por todo o ano. Somente então você pode se desenvolver, você pode florir. Transforme pequenas coisas em celebração. Tudo o que você faz deveria expressar a si próprio; deveria ter a sua assinatura. Então a vida se torna uma celebração contínua”*  
Osho

*À Maria Cecília cuja assinatura permanece viva e florida no coração de todos nós.*

# Agradecimentos

Existem muitas de pessoas a quem eu gostaria de agradecer, foram muitos momentos divididos, muitas etapas vencidas, muitos sonhos partilhados, muitos conselhos e carinhos trocados. Infelizmente, o espaço de agradecimentos é bem limitado e não conseguirei citar todos como eu gostaria. Porém, tenho certeza que os que partilharam tudo isso comigo saberão que este parágrafo é direcionado a eles. Portanto, a vocês, eu serei eternamente grata, por todo amor, todo carinho, todas as conversas, risadas, brincadeiras, por todos os abraços aparentemente sem motivos, porém extremamente motivadores, e por sempre me lembrarem que o mundo será o reflexo de quem somos e de como levamos e enxergamos a vida; Antes de qualquer mudança física e material, vocês me ajudaram a primeiro enxergar o próximo como uma extensão nossa e que todos nós fazemos parte de uma imensa e única rede energética. Enxergar o mundo e todos os seus seres dessa forma me motivou e tornou possível todo o percurso que fiz até aqui e as mudanças positivas que experimentei em prol do bem maior acreditando que essa seja a chave para nossa evolução. Enfim, a todos vocês dedico meu amor, carinho e companheirismo eternamente. Estarei sempre com vocês.

Com isso, gostaria de citar algumas pessoas, as quais também desempenharam um papel fundamental na minha história, e as que tornaram esse trabalho possível:

Aos meus pais: Cristiane Carrozzino, Antonio Lima, Julie Barney e Luís Roberto Landi, por estarem sempre ao meu lado, por todo amor, paciência, ensinamentos, conselhos e dedicação nesses anos.

Ao meu noivo e melhor amigo, Gabriel, por estar sempre ao meu lado e por todas as conversas, motivações, paciência, amor e companheirismo.

A minha amiga e irmã de coração Nicole Villalva por todo apoio, amor e carinho todos esses anos.

A professora Gabriela pela orientação e por sempre dedicar parte do seu tempo para me auxiliar, tirar dúvidas e aconselhar. Serei eternamente grata por todo carinho, incentivo e amizade durante esses anos e por, principalmente, ser um dos meus maiores exemplos não só como profissional, mas também como pessoa.

A professora Maria Cecília por todo amor e sabedoria, por dividir seus sonhos e pensamentos comigo e por ter me orientado na graduação e mestrado. Sem a sua visão e determinação, nada disso seria possível. Serei sempre eternamente grata, pois eu não teria chegado aonde cheguei sem a senhora.

A Dra. Johanna Pacheco por toda orientação, amizade e carinho desde o início desse projeto e, principalmente, por sempre dividir seu conhecimento e por sempre acreditar em mim. Sou muito grata por ter tido a honra de poder fazer parte da sua equipe. Você é uma inspiração para todos nós,

À Edilea (Didi) por toda paciência, carinho e auxílio com a preparação dos reagentes e ataque eletrolítico.

Aos meus companheiros e amigos de laboratório: Mônica, Marcella, Natalie, Iane, Tibério, Lucas B., Mariana B., André B., Felipe, Brandon, Adilson, César e Vítor Manoel por toda ajuda técnica, teórica e por toda a amizade e carinho.

Aos Técnicos: Nelson, Oswaldo e Marcos, por toda a ajuda e por todo o trabalho que tiveram para me ajudar.

A professora Renata, a qual agradeço imensamente todo carinho, apoio e por acreditar nesse projeto.

À Regula Forensics Ltda, em especial Alexandre Marinho, por todo apoio e auxílio com equipamentos tornando possível o desenvolvimento desse trabalho.

A todos os peritos dos órgãos de segurança nacional por toda atenção, apoio e contribuições para esse Projeto.

A Faperj e a CAPES pelo apoio financeiro a este trabalho e pelas contribuições.

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

## ESTUDO DE TÉCNICAS NÃO DESTRUTIVAS NA RECUPERAÇÃO DE MARCAÇÕES ADULTERADAS EM CHAPAS METÁLICAS

Mariana Gaudencio Barbosa Lima

Fevereiro/2018

Orientadoras: Gabriela Ribeiro Pereira

Maria Cecília de Souza Nóbrega

Programa: Engenharia Metalúrgica e de Materiais

O presente trabalho tem como objetivo estudar a aplicabilidade das técnicas não destrutivas de correntes parasitas (CP)/ magnetograma (M)/ visualização magneto-óptica (VMO) e partículas magnéticas (PM) na área forense de restauração de marcações adulteradas. Para tal, foram utilizadas amostras obtidas a partir de partes de chassi de dois veículos. Devido ao desconhecimento quanto aos materiais que compõem cada chassi, foi necessário realizar a caracterização microestrutural, mecânica por microdureza e magnética dos mesmos. Após a caracterização, as amostras foram identificadas com códigos alfabéticos, impressos por estampagem e gravação e, em seguida, foram adulteradas por remoção e remarcação. O desempenho das técnicas não destrutivas foi avaliado em comparação com a técnica destrutiva de restauração por ataque eletrolítico, levando em consideração: tempo de análise, detecção e visualização, limite de detecção, versatilidade, segurança, mobilidade e custo. De acordo com os resultados obtidos os métodos de revelação por CP/M/VMO e PM apresentaram satisfatório desempenho na revelação de códigos originais impressos por estampagem, adulterados por remoção e regravação.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

## APPLICATION OF NON-DESTRUCTIVE TECHNIQUES IN THE RESTORATION OF OBLITERATED MARKS IN METTALLIC SAMPLES

Mariana Gaudencio Barbosa Lima

February/2018

Advisors: Gabriela Ribeiro Pereira

Maria Cecília de Souza Nóbrega

Department: Metallurgical and Materials Engineering

This work aims the evaluation of non-destructive techniques known as eddy current (EC)/ magnetography (MG)/ magneto-optical imaging (MOI) and magnetic particle (MP) in the forensic restoration of obliterated marks. The samples used in this study were extracted from two different vehicle's chassis. Since the materials of the chassis are unknown the microstructural, chemical and magnetic characterizations were needed. In addition, the samples were identified with alphabetic codes, impressed by stamping and engraving. After the identification, the samples suffered two types of adulteration: removal of the code and re-stamping. The performance of the two non-destructive methods was evaluated in comparison with the destructive method of restoration by chemical etching, current used by the Brazilian investigators, considering: time of analysis, imaging and detection, sensibility, applicability, safety, mobility and cost. Considering the results obtained, the EC/MG/MOI and MP restoration's methods presented a good performance on the recovery of the original stamped codes, obliterated by removal and re-stamping.



# Índice

<b>1. Introdução</b>	<b>1</b>
<b>2. Revisão Bibliográfica</b>	<b>4</b>
<b>2.1. Recuperação de Códigos Seriais</b>	<b>4</b>
<b>2.2. Marcações</b>	<b>5</b>
2.2.1. Métodos de Impressão	5
2.2.2. Técnicas de Adulteração	9
<b>2.3. Fundamentos de Restauração de Códigos seriais Originais</b>	<b>10</b>
2.3.1. Deformação Plástica	10
2.3.2. Zona de Tensões Residuais	13
<b>2.4. Técnicas de Recuperação para Materiais Metálicos</b>	<b>17</b>
2.4.1. Visualização por Corrente Parasita (CP) / Magnetografia (M) / Visualização por Efeito Magneto-Óptico (VMO)	18
2.4.2. Inspeção por Partículas Magnéticas (IPM)	24
2.4.3. Ataque Químico e Eletrolítico	26
<b>3. Materiais e Métodos</b>	<b>29</b>
<b>3.1. Descrição das Amostras</b>	<b>29</b>
<b>3.2. Espectômetro de Emissão Óptica</b>	<b>36</b>
<b>3.3. Microscopia ótica</b>	<b>36</b>
<b>3.4. Microdureza Vickers</b>	<b>36</b>
<b>3.5. Magnetômetro de Amostra Vibrante (VSM)</b>	<b>37</b>
<b>3.6. Revelação por CP/M/VMO</b>	<b>37</b>
<b>3.7. Revelação por Partículas Magnéticas</b>	<b>39</b>
<b>3.8. Recuperação por Ataque Eletrolítico</b>	<b>40</b>
<b>4. Resultados e Discussões</b>	<b>41</b>
<b>4.1. Caracterização dos Materiais</b>	<b>41</b>
4.1.1. Espectômetro de Emissão Óptica	41
4.1.2. Magnetômetro de Amostra Vibrante (VSM)	42
4.1.3. Microscopia Óptica	43
4.1.4. Microdureza Vickers	46
<b>4.2. Estudo da Restauração de Códigos Seriais</b>	<b>52</b>
4.2.1. Amostra Veículo A_1	52
Revelação por CP/M/VMO	53
Revelação por Partículas Magnéticas (PM)	54
Recuperação por Ataque Eletrolítico	56
4.2.2. Amostra Veículo A_2	56
Revelação por CP/M/VMO	57
Revelação por Partículas Magnéticas (PM)	59
Restauração por Ataque Eletrolítico	59

4.2.3. Amostra Veículo B_1	60
Revelação por CP/M/VMO	61
Revelação por Partículas Magnéticas (PM)	62
Recuperação por Ataque Eletrolítico	63
4.2.4. Amostra Veículo B_2	64
Revelação por CP/M/VMO	65
Revelação por Partículas Magnéticas (PM)	66
Recuperação por Ataque Eletrolítico	67
4.2.5. Amostra Veículo B_3	67
Revelação por CP/M/VMO	69
Revelação por Partículas Magnéticas (PM)	69
Recuperação por Ataque Eletrolítico	70
4.2.6. Amostra Veículo B_4	71
Revelação por CP/M/VMO	72
Revelação por Partículas Magnéticas (PM)	73
Recuperação por Ataque Eletrolítico	73
<b>4.3. Teste de Limite de detecção</b>	<b>74</b>
4.3.1. Revelação por CP/M/VMO	74
4.3.2. Revelação por Partículas Magnéticas (PM)	76
4.3.3. Revelação por Ataque Eletrolítico	78
<b>4.4. Comparação dos Resultados</b>	<b>80</b>
4.4.1. Tempo de análise	80
4.4.2. Detecção e Visualização	82
4.4.3. Limite de Detecção	82
4.4.4. Versatilidade	83
4.4.5. Segurança	84
4.4.6. Mobilidade	84
4.4.7. Custo	85
<b>5. Conclusão</b>	<b>86</b>
<b>6. Sugestão de Trabalhos Futuros</b>	<b>87</b>
<b>7. Referências</b>	<b>88</b>
<b>Anexo A</b>	<b>91</b>
<b>Anexo B</b>	<b>92</b>

# Lista de Figuras

**Figura 1.** (a) Exemplo de marcação por estampagem a frio em um aço cromo-níquel austenítico inoxidável (material dúctil). Profundidade de marcação: 240  $\mu\text{m}$  (STRAUFFER & BONFANTI, 2006); (b) Exemplo de matrizes para estampagem a mão.

**Fonte:** (b) *Pryor Marking Technology* \_\_\_\_\_ 6

**Figura 2.** (a) Marcação por pino em aço de baixa liga, mostrando o acúmulo de material ao redor da marcação. Profundidade de marcação: 320  $\mu\text{m}$  (STRAUFFER & BONFANTI, 2006); (b) Exemplo de marcação por pino. **Fonte:** (b) *Alibaba.com* \_\_\_\_\_ 7

**Figura 3.** (a) Cilindros marcados por rolagem; (b) Exemplo de um equipamento de marcação por rolagem. **Fonte:** (a) *Universal Marking Metal CO*; (b) *A&A Jewellery Supply* \_\_\_\_\_ 7

**Figura 4.** (a) Exemplo de marcação tipo roda do NIV de um Opel Omega em aço de baixa liga galvanizado. Profundidade de marcação: 450  $\mu\text{m}$ . Adaptado de (STRAUFFER & BONFANTI, 2006) (b) Exemplo de um marcador tipo roda, o qual é acoplado a uma prensa hidráulica. **Fonte:** (b) *Borries Markier* \_\_\_\_\_ 7

**Figura 5.** (a) Processo de gravação em aço de baixa liga. (b) Direção do processo de gravação. Profundidade de marcação: 32  $\mu\text{m}$  (STRAUFFER & BONFANTI, 2006) \_\_\_\_ 8

**Figura 6. (a)** Marcação por escriba em aço baixa liga com magnificação de alguns caracteres. Profundidade de marcação: 200  $\mu\text{m}$ . (b) Exemplo de um equipamento de impressão por escriba. Adaptado de (STRAUFFER & BONFANTI, 2006) **Fonte:** (b) *scribemarker.com* \_\_\_\_\_ 8

**Figura 7.** (a) Marcação a laser em um material polimérico ABS. Profundidade de marcação: 32  $\mu\text{m}$ . (b) Exemplo de marcação a laser de VIN. Adaptado de (STRAUFFER & BONFANTI, 2006) **Fonte:** (b) *Pryor Marking Technology* \_\_\_\_\_ 8

**Figura 8.** Exemplo de um revólver com numeração raspada. **Fonte:** Site da *Policia Civil do Estado do Rio Grande do Sul* \_\_\_\_\_ 10

**Figura 9.** Numeração do chassi de um Palio Weekend – adulteração por regravação. 10

**Figura 10.** Exemplo de uma adulteração por recobrimento total com estanho seguido de regravação. \_\_\_\_\_ 10

**Figura 11.** Exemplo de chassi implantado, presença de marcas de solda. Fonte: *Google.com* \_\_\_\_\_ 10

**Figura 12.** Ilustração de uma estrutura cristalina submetida a tração e a compressão. \_\_\_\_\_ 11

**Figura 13.** Posição dos átomos em volta da discordância; Meio plano extra de átomos demonstrado em perspectiva. Adaptado de (CALLISTER, 2012) \_\_\_\_\_ 12

- Figura 14.** Rearranjo que acompanha a movimentação de uma discordância em resposta a uma tensão cisalhante. (a) Meio plano extra de átomos A; (b) A discordância move-se a uma distância atômica a direita, de forma que A se ligue a parte inferior do plano B; (c) Um degrau se forma na superfície do cristal. Adaptado de (CALLISTER, 2012) \_\_\_\_\_ 12
- Figura 15.** Micrografia óptica de um aço baixo carbono, após estampagem, 10x. Observa-se a mudança de forma dos grãos, zona 1, evidenciando a zona de deformação plástica, e a dispersão da deformação ao longo da zona 2, região não-deformada. \_ 14
- Figura 16.** Micrografia óptica de um aço baixo carbono, após gravação, 20x. Não é observado deformação plástica aparente na região abaixo da cavidade. \_\_\_\_\_ 15
- Figura 17.** Ilustração da seção transversal de uma indentação na superfície de um metal: (a) Duas zonas de deformação são observadas: Plástica (permanente) e elástica (não- permanente); (b) Lixamento gradual da cavidade criada; (c) remoção total da indentação, permanecendo apenas a zonas plástica e elástica; (d) remoção da zona plástica, tornando impossível a revelação. Adaptação de (STRAUFFER & BONFANTI, 2006) \_\_\_\_\_ 17
- Figura 18.** Etapas do ensaio de correntes parasitas. (a) Corrente alternada fluindo pela bobina a uma determinada frequência, gerando um campo magnético primário,  $H_p(t)$ , ao seu redor (linhas azuis); (b) Quando a bobina se aproxima da amostra condutora, a corrente parasita é induzida na mesma (linhas vermelhas); (c) Na presença de um defeito na amostra, a circulação da corrente parasita é perturbada variando o campo magnético secundário,  $H_s(t)$ (linhas amarelas). Adaptado de (OLYMPUS, 1999)\_\_\_\_ 20
- Figura 19.** Ilustração de remoção e gravação de dados. **Fonte:** Adaptado de (CENTER, 2015) \_\_\_\_\_ 22
- Figura 20.** Ilustração da rotação do plano de orientação de uma onda eletromagnética linearmente polarizada, ao ser transmitida pela estrutura do Grafeno submetida a um campo magnético B. **Fonte:** Adaptado de *UTokyo Research*\_\_\_\_\_ 24
- Figura 21.** Ilustração do fluxo de campo magnético e dos campos de fuga gerados pela presença se uma trinca. As partículas magnéticas se concentram nos polos formados nas bordas do defeito. **Fonte:** Adaptado de (CENTER, 2017) \_\_\_\_\_ 25
- Figura 22.** Exemplo de revelação por ataque químico por imersão. (a) Gravação original “F8” removida da superfície e regravada com o código “Q2”; (b) Restauração do código original. (KUPPUSWAMY, 2010)\_\_\_\_\_ 28
- Figura 23.** Exemplo de uma arma sendo inspecionada por ataque eletrolítico. **Fonte:** *Crime Scene Training*. \_\_\_\_\_ 28
- Figura 24.** Estampagem por punção manual: (a) Marcadores de 8 mm; (b) Estampagem das amostras. \_\_\_\_\_ 30

<b>Figura 25.</b> Fresadora <i>Nardini PETRUS 50100R</i> .....	30
<b>Figura 26.</b> Perfilômetro <i>Bruker Dektak XT</i> .....	31
<b>Figura 27.</b> Amostras destinadas a caracterização microestrutural, mecânica (microdureza) e magnética e química. ....	33
<b>Figura 28.</b> Amostras destinadas a medição de profundidade de zona de deformação plástica. ....	35
<b>Figura 29.</b> Ilustração do equipamento. (a) Indutor de correntes parasitas (Regula 7515); (b) Leitor Magneto-Óptico (Regula 7505). ....	38
<b>Figura 30.</b> Ilustração do teste de concentração com decantador tipo “pêra”. ....	39
<b>Figura 31.</b> Amostra com a tinta contraste aplicada. ....	40
<b>Figura 32.</b> Imãs permanente com a amostra posicionadas sobre eles. ....	40
<b>Figura 33.</b> Configuração do ataque eletrolítico: (a) Anodo e catodo conectados a fonte de tensão estabilizada <i>Tectrol</i> , modelo TC 20-33; (b) Catodo: algodão embebido com solução, anodo: chapa a ser corroída. ....	41
<b>Figura 34.</b> Curva de Histerese em Gauss (G) das amostras: <b>veículo AC_2 e veículo BC_2</b> . ....	43
<b>Figura 35.</b> Micrografia longitudinal da amostra veículo AC_1. Aumento: 100x. ....	44
<b>Figura 36.</b> Micrografia longitudinal da amostra veículo AC_1. Aumento: 200x ....	44
<b>Figura 37.</b> Micrografia longitudinal da amostra veículo BC_1. Aumento: 200x. ....	45
<b>Figura 38.</b> Micrografia longitudinal da amostra veículo BC_1. Aumento: 1000x. ....	45
<b>Figura 39.</b> Micrografia Óptica do aço Aço IF M3A33 após recozimento. Ataque: nital 2% e picral 2%. (FIETO, 2013) ....	46
<b>Figura 40.</b> Micrografia óptica do Aço AISI 1005. Ataque: nital 2%. (ZHANG <i>et al.</i> , 2002) .....	46
<b>Figura 41.</b> Medição da profundidade da zona de deformação veículo AC_3. ....	49
<b>Figura 42.</b> Medição da profundidade da zona de deformação da amostra veículo BC_3. ....	50
<b>Figura 43.</b> Amostra Veículo A_1: (a) Identificada com o código <b>GF</b> ; (b) Adulteração por remoção, remoção total do código original. ....	52
<b>Figura 44.</b> Magnetograma da amostra veículo A_1. ....	53
<b>Figura 45.</b> Revelação por PM por via seca. ....	54
<b>Figura 46.</b> Revelação por PM da amostra veículo A_1. ....	55
<b>Figura 47.</b> Revelação por PM da amostra veículo A_1 com inversão dos imãs permanentes. ....	55
<b>Figura 48.</b> Revelação por ataque eletrolítico da amostra veículo A_1. ....	56

<b>Figura 49.</b> Amostra Veículo A_2: (a) Identificada com o código <b>GF</b> ; (b) Adulteração por regravação, remoção total do código original seguido da estampagem do novo código <b>C&amp;</b> .	57
<b>Figura 50.</b> Magnetograma da amostra veículo A_2.	58
<b>Figura 51.</b> Revelação por PM da amostra veículo A_2.	59
<b>Figura 52.</b> Revelação por ataque eletrolítico da amostra veículo A_2.	60
<b>Figura 53.</b> Amostra Veículo B_1: (a) Identificada com o código <b>END</b> ; (b) Adulteração por remoção, remoção total do código original.	61
<b>Figura 54.</b> Magnetograma da amostra veículo B_1.	62
<b>Figura 55.</b> Revelação por PM da amostra veículo B_1.	62
<b>Figura 56.</b> Revelação por ataque eletrolítico da amostra veículo B_1.	63
<b>Figura 57.</b> Amostra Veículo B_2: (a) Identificada com o código <b>END</b> ; (b) Adulteração por remarcação, remoção total do código original seguido da estampagem do código <b>BAP</b>	64
<b>Figura 58.</b> Magnetograma da amostra veículo B_2.	65
<b>Figura 59.</b> Revelação por PM da amostra veículo B_2.	66
<b>Figura 60.</b> Revelação por ataque eletrolítico da amostra veículo B_2.	67
<b>Figura 61.</b> Amostra Veículo B_3: (a) Identificada com o código <b>LNDC</b> ; (b) Adulteração por remoção, com remoção total do código original.	68
<b>Figura 62.</b> Magnetograma da amostra veículo B_3.	69
<b>Figura 63.</b> Revelação por PM da amostra veículo B_3.	70
<b>Figura 64.</b> Revelação por ataque eletrolítico da amostra veículo B_3.	70
<b>Figura 65.</b> Amostra Veículo B_4: (a) Identificada com o código <b>LNDC</b> ; (b) Adulteração por remarcação, com remoção total do código original seguida da estampagem do novo código.	71
<b>Figura 66.</b> Magnetograma da amostra veículo B_4.	72
<b>Figura 67.</b> Revelação por PM da amostra veículo B_4.	73
Figura 68. Revelação por ataque eletrolítico da amostra veículo B_3.	74
<b>Figura 69.</b> Magnetograma da amostra veículo B_1. Profundidade de 290 $\mu\text{m}$ , 90 $\mu\text{m}$ abaixo da cavidade.	75
<b>Figura 70.</b> Magnetograma da amostra veículo B_1.2. Profundidade de 460 $\mu\text{m}$ , 260 $\mu\text{m}$ abaixo da cavidade.	75
<b>Figura 71.</b> Magnetograma da amostra veículo B_1.3. Profundidade de 670 $\mu\text{m}$ , 470 $\mu\text{m}$ abaixo da cavidade.	75
<b>Figura 72.</b> Magnetograma da amostra veículo B_1.4. Profundidade de 870 $\mu\text{m}$ , 670 $\mu\text{m}$ abaixo da cavidade.	76

<b>Figura 73.</b> Revelação por PM amostra veículo B_1. Profundidade de 290 $\mu\text{m}$ , 90 $\mu\text{m}$ abaixo da cavidade.	76
<b>Figura 74.</b> Revelação por PM da amostra veículo B_1.2. Profundidade de 460 $\mu\text{m}$ , 260 $\mu\text{m}$ abaixo da cavidade.	77
<b>Figura 75.</b> Revelação por PM da amostra veículo B_1.3. Profundidade de 670 $\mu\text{m}$ , 470 $\mu\text{m}$ abaixo da cavidade.	77
<b>Figura 76.</b> Revelação por PM da amostra veículo B_1.4. Profundidade de 870 $\mu\text{m}$ , 670 $\mu\text{m}$ abaixo da cavidade.	77
<b>Figura 77.</b> Revelação por ataque eletrolítico da amostra veículo B_1. Profundidade de 290 $\mu\text{m}$ , 90 $\mu\text{m}$ abaixo da cavidade.	78
<b>Figura 78.</b> Revelação por ataque eletrolítico da amostra veículo B_1.2. Profundidade de 460 $\mu\text{m}$ , 260 $\mu\text{m}$ abaixo da cavidade.	78
<b>Figura 79.</b> Revelação por ataque eletrolítico da amostra veículo B_1.3. Profundidade de 670 $\mu\text{m}$ , 470 $\mu\text{m}$ abaixo da cavidade.	79
<b>Figura 80.</b> Revelação por ataque eletrolítico da amostra veículo B_1.4. Profundidade de 870 $\mu\text{m}$ , 670 $\mu\text{m}$ abaixo da cavidade.	79

# Lista de Tabelas

<b>Tabela 1.</b> Resumo de importantes técnicas de marcação. Adaptado de (STRAUFFER & BONFANTI, 2006)	6
<b>Tabela 2.</b> Descrição das amostras destinadas ao estudo da restauração de códigos seriais.	32
<b>Tabela 3.</b> Descrição das amostras destinadas a caracterização dos materiais estudados	34
<b>Tabela 4.</b> Descrição das amostras destinadas a medição de zona de deformação plástica.	35
<b>Tabela 7.</b> Microdureza <i>vickers</i> longitudinal (zona não deformada) da amostra veículo AC_1.	47
<b>Tabela 8.</b> Microdureza <i>vickers</i> longitudinal (zona não deformada) da amostra veículo BC_1.	47
<b>Tabela 9.</b> Microdureza <i>vickers</i> transversal (zona deformada) da amostra veículo AC_3.	49
<b>Tabela 10.</b> Microdureza <i>vickers</i> transversal (zona deformada) da amostra veículo BC_3.	50
<b>Tabela 11.</b> Microdureza <i>vickers</i> transversal (zona deformada) da amostra veículo BC_4.	51
<b>Tabela 12.</b> Perda de espessura após a adulteração da amostra veículo A_1.	53
<b>Tabela 13.</b> Perda de espessura após a adulteração da amostra veículo A_2.	57
<b>Tabela 14.</b> Perda de espessura após a adulteração da amostra veículo B_1.	61
<b>Tabela 15.</b> Perda de espessura após a adulteração da amostra B_2	65
<b>Tabela 16.</b> Perda de espessura após a adulteração da amostra B_3.	68
<b>Tabela 17.</b> Perda de espessura após a adulteração da amostra B_4.	72
<b>Tabela 18.</b> Duração da técnica de revelação por ataque eletrolítico.	81
<b>Tabela 19.</b> Tempo de duração total das técnicas	81
<b>Tabela 20.</b> Limite de detecção das técnicas de revelação	83
<b>Tabela 21.</b> Comparação de custo entre CP/M/VMO e Partículas Magnéticas.	85
<b>Tabela 22.</b> Resumo do desempenho das técnicas implementadas nas análises, em laboratório, das amostras veículo A_i *	91
<b>Tabela 23.</b> Resumo do desempenho das técnicas implementadas nas análises em laboratório das amostras veículo B_i *	91
<b>Tabela 24.</b> Resumo do desempenho das técnicas implementadas, com base nos resultados obtidos, visando a aplicação prática*.	91



# 1. Introdução

Na indústria automobilística, após a década de 80, todos os veículos manufacturados são obrigatoriamente identificados com um código padronizado pela ISO 3779 definido como Numeração de Identificação do Veículo (NIV). Tal codificação tem como objetivo a identificação do automóvel, ou de partes deste, em transações de compra e venda, roubo, furto e acidentes.

Organizações criminosas, na tentativa de inviabilizar o rastreamento do veículo ou de produzir uma falsa identificação, buscam modificar ou remover seu código serial. Nesses casos, a detecção de tais modificações e a recuperação da numeração original é de extrema importância na inspeção executada por peritos de órgãos de segurança pública, pois essa proverá uma forte evidência para recuperação do veículo ou para auxiliar no rastreamento de atos criminosos do infrator. (AZLAN MOHD. ZAILI *et al.*, 2007b)

A detecção e a recuperação dependem de alguns fatores como: o material do substrato, a técnica utilizada e a carga aplicada na impressão. Entre os diversos métodos desenvolvidos pela indústria de marcação, a estampagem e a gravação são as técnicas comumente utilizadas pela indústria automobilística.

Quando um número é puncionado sobre a superfície de um metal, os grãos, em torno e abaixo da cavidade criada, são deformados e o alinhamento da estrutura cristalina é alterado, resultando em regiões severamente distorcidas conhecidas como zonas de deformação plástica. Essas possuem propriedades físicas e químicas diferentes em comparações com outras regiões não deformadas. Deste modo, variações como: aumento da resistência mecânica, perda de ductilidade, variação de resistividade elétrica, variação de comportamento magnético e de potencial químico são extremamente vantajosas para detecção de regiões de tensão residual, após a remoção da cavidade. (KUPPUSWAMY, 2010)

Para tal, existem alguns métodos promissores, os quais são divididos em duas categorias: (i) Destrutivos: ataque químico e/ou eletrolítico, tratamento térmico, cavitação ultrassônica e polimento de alívio; (ii) Não destrutivos: partículas magnéticas e visualização magneto-óptica. Outros métodos como: ensaio de dureza, visualização por refração ou reflexão de raios-X e difração de elétrons retroespalhados também são propostos e vem sendo estudados, em laboratório, sobre a sua aplicabilidade na área. (KUPPUSWAMY, 2010, STRAUFFER & BONFANTI, 2006)

Dentre os métodos supracitados, o ataque químico e partículas magnéticas são reportados na literatura como os mais populares pelos laboratórios forenses internacionais. (STREET & AWARD, 2015)

No Brasil, as técnicas utilizadas pelos peritos, para esse fim, são o ataque químico, e sua variação, o ataque eletrolítico. Estes possuem as vantagens de serem métodos validados, de baixo custo e bem fundados na área de metalurgia no que diz respeito a revelações macroscópicas e microscópicas.

Entretanto, a técnica de restauração por ataque químico não preserva a superfície analisada, além de fazer uso de agentes químicos tóxicos, nocivos à saúde e ao meio ambiente e exigir o conhecimento sobre a relação entre reagentes e composição do material analisado. Tais desvantagens atreladas a implementação de novas ligas metálicas na estrutura dos automóveis e a evolução das formas de adulteração contribuíram para o aumento do interesse dos peritos brasileiros em novas técnicas de restauração, as quais preservem a integridade das superfícies analisadas e não dependam da composição do material.

Assim sendo, o presente trabalho tem como objetivo avaliar a aplicabilidade das técnicas não destrutivas de inspeção por partículas magnéticas e inspeção conhecida por corrente parasita (CP) / magnetografia (M) / visualização magneto-óptica (VMO), desenvolvida recentemente pela empresa *Regula Forensics*, em comparação com a técnica destrutiva de revelação por ataque eletrolítico. A motivação para tal, está

relacionada a existência de poucas informações quantitativas, na literatura, sobre a viabilidade das técnicas não destrutivas, para restauração do NIV. Portanto, as técnicas citadas serão comparadas levando em consideração: tempo de análise, detecção e visualização, limite de detecção (sensibilidade), versatilidade, segurança, mobilidade (aplicação em campo) e custo. Em adição, devido ao desconhecimento quanto aos materiais que compõe as amostras utilizadas, foi necessário realizar a caracterização microestrutural, mecânica por microdureza e magnética dos mesmos. Essa etapa foi adicionada neste trabalho com o objetivo de realizar um estudo mais aprofundado, tornando possível relacionar os resultados adquiridos com as características dos materiais analisados.

## 2. Revisão Bibliográfica

### 2.1. Recuperação de Códigos Seriais

A ciência forense é uma vertente da ciência voltada para aplicação de todo conhecimento científico na solução de crimes.

Um dos segmentos da ciência forense, no qual é aplicado o conhecimento de ciência e tecnologia dos materiais, lidando com aspectos de física de estado sólido, química, metalurgia e engenharia, é a recuperação de códigos seriais removidos da superfície de peças metálicas. Nesta são investigados casos diretamente ligados aos delitos de roubos e furtos veiculares. (KATTERWE, 1996, POLK & GIESSEN, 1989, STRAUFFER & BONFANTI, 2006)

Segundo dados estatísticos levantados por Órgãos oficiais, o Brasil apresenta elevado número de ocorrências referentes a furtos e roubos veiculares. No Estado do Rio de Janeiro, em 2017, foram registrados aproximadamente 50 mil roubos – 20% superior ao registrado no ano anterior – e 15 mil furtos veiculares. (ISP, 2017)

De acordo com a Interpol, em 2015 cerca de 7,4 milhões de registros envolvendo furto e roubos veiculares foram registrados em seu banco de dados. No Brasil, segundo a divisão de investigações sobre furtos e roubos de veículos e cargas (DIVECAR), cerca de 500 milhões de reais são movimentados com a subtração de automóveis nas grandes cidades. Isto não só tem consequências econômicas, com o aumento de valor de seguros e dispositivos de segurança, como também intensifica a vitimização e a exposição a violência dos cidadãos. Segundo (INTERPOL, 2014, 2016), a América do Sul é a região com o maior índice do uso de violência pelos criminosos, em comparação com as outras regiões. Além do agravante econômico e de segurança, (INTERPOL, 2014) fez um levantamento sobre a conexão de furtos e roubos veiculares com outros crimes e 63% dos países entrevistados afirmaram a relação desses com delitos como: roubos a bancos, sequestros, homicídios, tráfico de drogas, terrorismo, uso do veículo

como moeda de troca para abastecer o narcotráfico, tráfico de pessoas e tráfico de armas.

Com base no depoimento dos peritos brasileiros, o *Modus Operandis* utilizado pelas organizações criminosas, resume-se, a tentativa de dificultar o rastreamento do objeto, removendo seu código de identificação, bem como alterar os números de identificação do mesmo visando a revenda do item.

Desta forma, a detecção de adulterações em veículos vistoriados por órgãos de fiscalização de trânsito, como Detran, e a recuperação da numeração original de veículos, bloco de motor, armas e outros itens, encontrados em cenas de crime pelos peritos, são de extrema importância para mitigar tais ocorrências.

Para tal, é necessário o conhecimento das técnicas de marcações utilizadas, bem como os métodos de adulteração aplicados, suas influências na microestrutura e nas propriedades do material e a relação das técnicas de revelação com essa variação de características microestruturais.

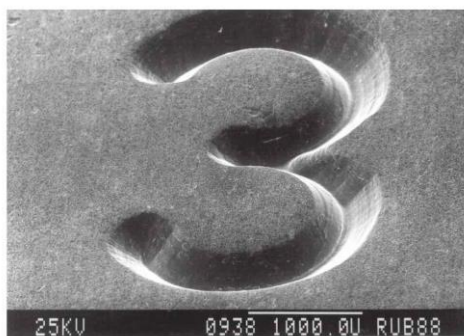
## 2.2. Marcações

### 2.2.1. Métodos de Impressão

Códigos de identificação podem ser impressos de diversas formas em um material. Na indústria automotiva, os tipos de marcação mais comumente utilizados são estampagem e gravação. Contudo, o mercado de impressões está em crescente evolução, sendo desenvolvido novas tecnologias além de variações das técnicas usuais. Com base nisto, (STRAUFFER & BONFANTI, 2006) realizou um levantamento sobre os tipos de marcações empregados, nos últimos anos, na identificação de veículos. A Tabela 1 apresenta um resumo desse levantamento.

**Tabela 1.** Resumo de importantes técnicas de marcação. Adaptado de (STRAUFFER & BONFANTI, 2006)

Método	Observações
<b>Estampagem a frio</b>	Essa técnica pode ser aplicada mecanicamente ou manualmente. A quantidade de pressão aplicada, para alcançar determinada profundidade, durante a marcação, depende da resistência mecânica superficial e interna do material, Figura 1.
<b>Marcação com Pino</b>	Realizada por um marcador de pontos utilizado para imprimir a numeração de identificação veicular, Figura 2.
<b>Marcação por rolagem</b>	Método utilizado para marcar a frio a periferia de cilindros ou peças circulares. Para-choques e discos de freio são, normalmente, marcados por essa técnica, Figura 3.
<b>Marcação tipo roda</b>	Prensagem a frio, no qual o objeto é marcado por uma prensa hidráulica com uma matriz “tipo roda” controladas por computador, Figura 4.
<b>Gravação</b>	Caracterizado pela remoção de lascas do substrato. Armas e algumas peças automotivas são marcadas por essa técnica Figura 5.
<b>Marcação por Escriba</b>	Combinação de marcação por pino e gravação realizando cortes micromecânicos. Para marcação em chassis e armas, são montadas em braços mecânicos, sendo totalmente automatizadas, Figura 6.
<b>Marcação a laser</b>	Metais são marcados por intenso raio laser controlado por computador. O laser é capaz de alterar a estrutura do material criando uma zona termicamente afetada, cuja profundidade dependerá da intensidade do laser aplicado, Figura 7.



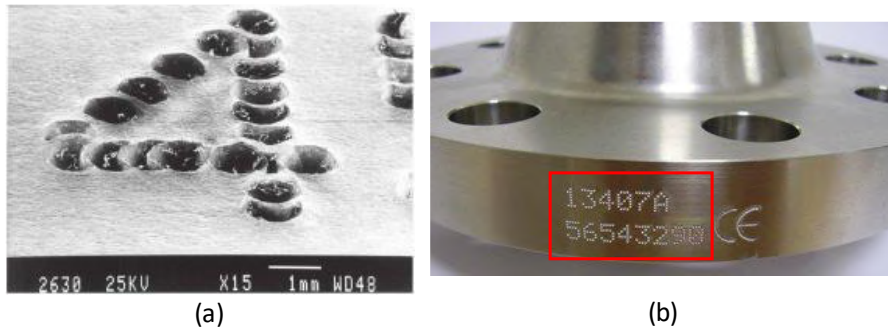
(a)



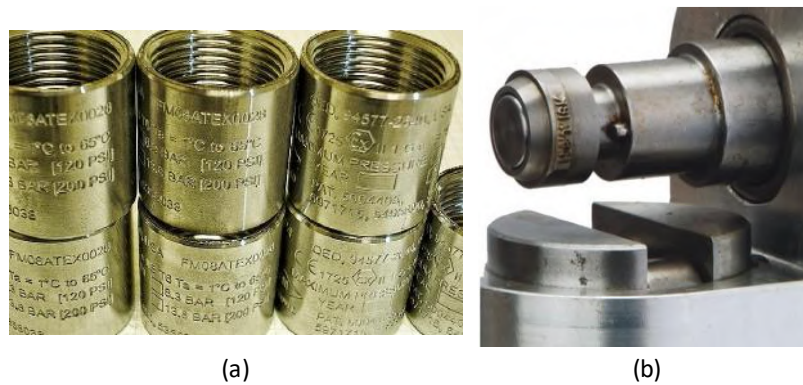
(b)

**Figura 1.** (a) Exemplo de marcação por estampagem a frio em um aço cromo-níquel austenítico inoxidável (material dúctil). Profundidade de marcação: 240 µm (STRAUFFER & BONFANTI, 2006); (b) Exemplo de matrizes para estampagem a mão.

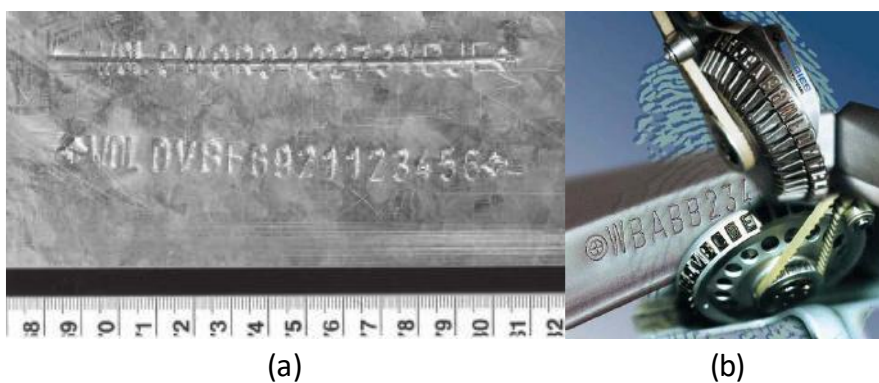
**Fonte:** (b) Pryor Marking Technology



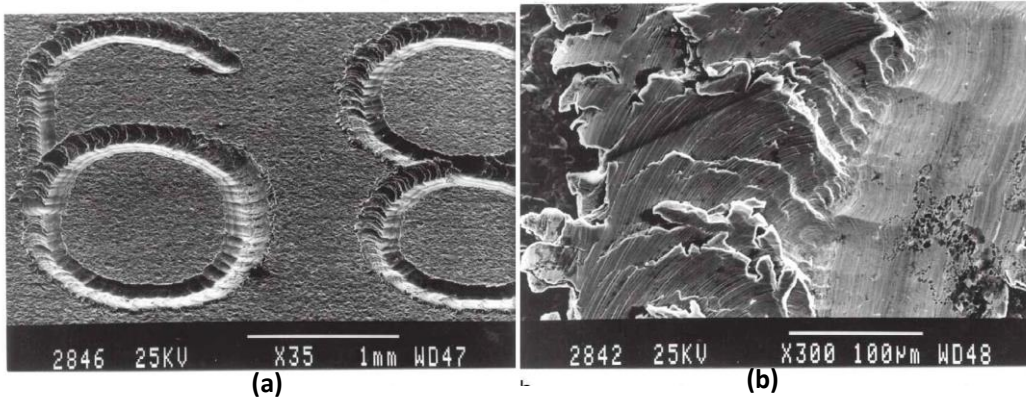
**Figura 2.** (a) Marcação por pino em aço de baixa liga, mostrando o acúmulo de material ao redor da marcação. Profundidade de marcação: 320  $\mu\text{m}$  (STRAUFFER & BONFANTI, 2006);  
 (b) Exemplo de marcação por pino.  
**Fonte:** (b) *Alibaba.com*



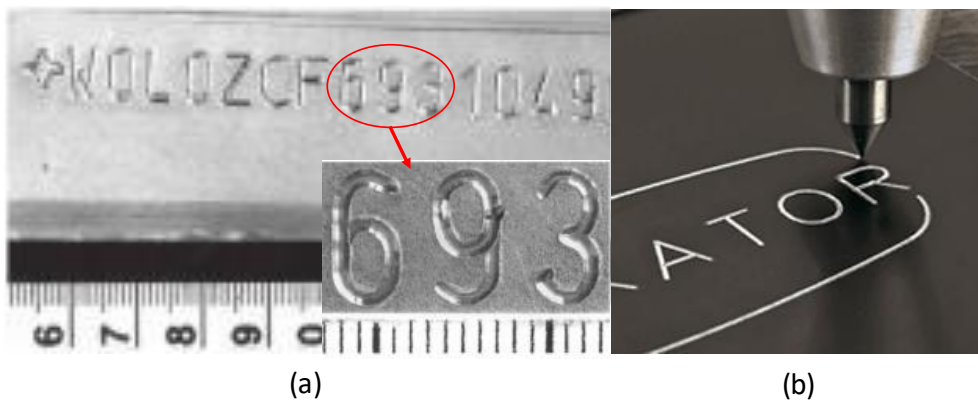
**Figura 3.** (a) Cilindros marcados por rolagem; (b) Exemplo de um equipamento de marcação por rolagem.  
**Fonte:** (a) *Universal Marking Metal CO*; (b) *A&A Jewellery Supply*



**Figura 4.** (a) Exemplo de marcação tipo roda do NIV de um Opel Omega em aço de baixa liga galvanizado. Profundidade de marcação: 450  $\mu\text{m}$ . Adaptado de (STRAUFFER & BONFANTI, 2006) (b) Exemplo de um marcador tipo roda, o qual é acoplado a uma prensa hidráulica.  
**Fonte:** (b) *Borries Markier*

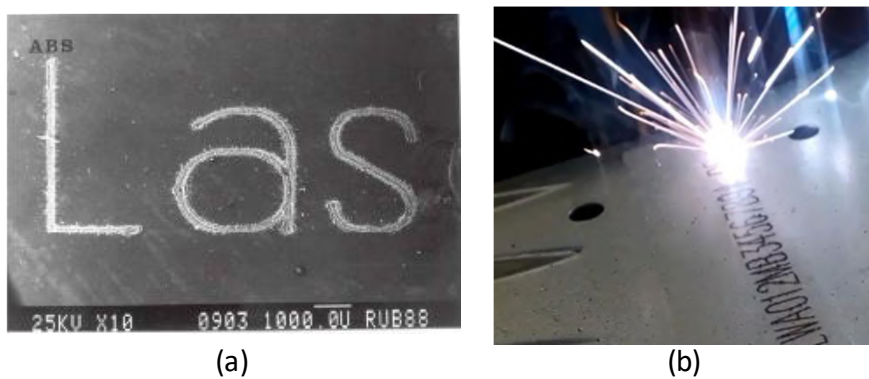


**Figura 5.** (a) Processo de gravação em aço de baixa liga. (b) Direção do processo de gravação. Profundidade de marcação: 32 µm (STRAUFFER & BONFANTI, 2006)



**Figura 6.** (a) Marcação por escriba em aço baixa liga com magnificação de alguns caracteres. Profundidade de marcação: 200 µm. (b) Exemplo de um equipamento de impressão por escriba. Adaptado de (STRAUFFER & BONFANTI, 2006)

Fonte: (b) [scribemarker.com](http://scribemarker.com)



**Figura 7.** (a) Marcação a laser em um material polimérico ABS. Profundidade de marcação: 32 µm. (b) Exemplo de marcação a laser de VIN. Adaptado de (STRAUFFER & BONFANTI, 2006)

Fonte: (b) [Pryor Marking Technology](http://Pryor Marking Technology)



## 2.2.2. Técnicas de Adulteração

Adulterar um número serial significa desfigura-lo por diferentes métodos de forma a torna-lo ilegível ou visivelmente indetectável. Tradicionalmente, tais práticas se resumem a eliminação do código por desgaste através do uso de técnicas abrasivas.

Os sistemas de adulteração dos caracteres identificadores de itens, detectados ao longo dos anos, serão resumidos a seguir:

a. Ausência da Numeração: consiste na remoção da numeração por meio de abrasão, perfuração, derretimento por bico de solda, ou, ainda, aplicação de ligas de solda, Figura 8.

b. Adulteração Simples: nesse processo um ou mais caracteres alfanuméricos são modificados.

c. Regravação: remoção parcial ou total da numeração de identificação, normalmente por uso de abrasivos, seguidos da remarcação – comum em veículos, Figura 9.

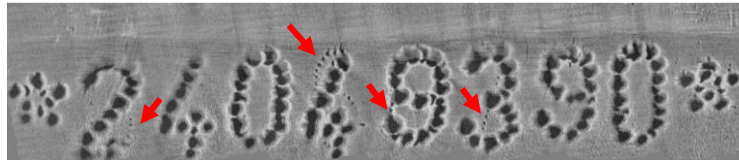
d. Recobrimento da Superfície Suporte: recobrimento parcial ou total da numeração de identificação por liga metálica de baixa fusão (estanho) ou massa polimérica para posterior gravação – comum em veículos, Figura 10.

e. Implante: remoção total da placa onde originalmente encontrava-se o número de identificação veicular (NIV) ou o recobrimento desta com uma placa metálica, gravada com o código desejado, fixada por adesivo ou solda, Figura 11.

f. Remontagem: consiste no aproveitamento de uma das partes do veículo, dianteira ou traseira, onde se encontra a gravação do chassi para ser remontada em um veículo furtado ou roubado.



**Figura 8.** Exemplo de um revólver com numeração raspada.  
**Fonte:** Site da *Polícia Civil do Estado do Rio Grande do Sul*



**Figura 9.** Numeração do chassi de um Palio Weekend – adulteração por regravação.



**Figura 10.** Exemplo de uma adulteração por recobrimento total com estanho seguido de regravação.



**Figura 11.** Exemplo de chassi implantado, presença de marcas de solda.  
**Fonte:** *Google.com*

## 2.3. Fundamentos de Restauração de Códigos seriais Originais

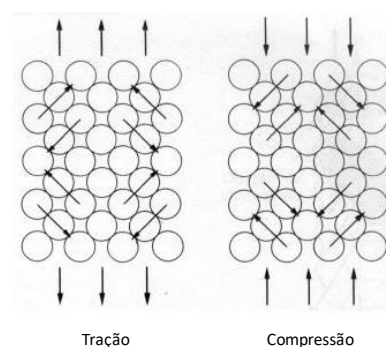
Para a compreensão dos fundamentos de restauração, é necessário entender o comportamento dos materiais quando submetidos a um esforço ou carga.

### 2.3.1. Deformação Plástica

Resistência dos materiais é o conhecimento que lida com a relação entre forças internas, deformação e carregamento externo. É observado, experimentalmente, que

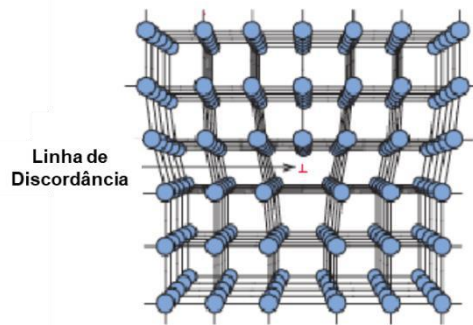
materiais sólidos podem ser deformados quando submetidos a uma carga externa. Igualmente, quando um carregamento específico é imposto, o sólido pode apresentar a capacidade de retomar a suas dimensões originais quando a carga for removida. Essa recuperação de dimensões é conhecida como comportamento elástico. Entretanto, se o limite elástico, específico de cada material, for excedido, o sólido sofrerá uma alteração permanente de sua geometria, mesmo após cessado o carregamento externo. Um corpo com mudanças permanentes de geometria é dito ter sofrido deformação plástica. (DIETER, 1988)

Materiais metálicos, ao serem submetidos a um esforço trativo ou compressivo, produzem, em seu interior, tensões internas cisalhantes distribuídas na rede cristalina do mesmo, como uma resposta a imposição da carga externa, Figura 12. Isto ocorre devido à tentativa da estrutura cristalina do material de manter o estado de equilíbrio antecedente a perturbação causada pelo carregamento.



**Figura 12.** Ilustração de uma estrutura cristalina submetida a tração e a compressão.

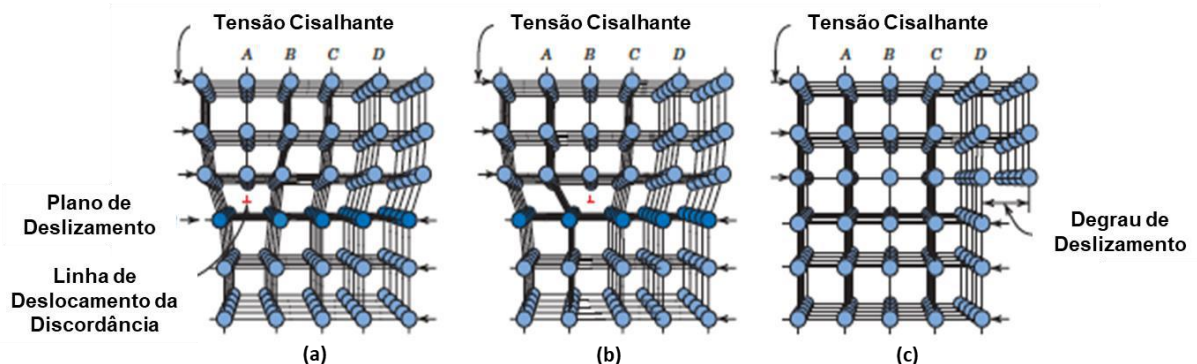
Quando a tensão externa excede o limite elástico do metal, as tensões cisalhantes internas causam o deslizamento ou escorregamento de defeitos lineares entre os planos da estrutura cristalina. Esses tipos de defeitos são conhecidos como discordâncias, as quais são criadas a partir de falhas de empilhamento atômico ocasionadas na etapa de solidificação do material, Figura 13. (VOLKERS, 2008, GIESSEN BILL *et al.*, 1975, HULL & BACON, 2011)



**Figura 13.** Posição dos átomos em volta da discordância; Meio plano extra de átomos demonstrado em perspectiva.  
Adaptado de (CALLISTER, 2012)

Com base nesse conhecimento, tem-se que a deformação plástica é produzida pela movimentação das discordâncias ao longo de planos preferenciais, nas direções mais compactas. Um exemplo dessa movimentação está ilustrado na Figura 14. Quando uma tensão cisalhante é aplicada em uma estrutura com falha de empilhamento (Figura 14 (a)), caracterizando uma discordância, esta irá se deslocar na direção da tensão aplicada de forma que o meio plano A se ligue na parte inferior do plano B, formando um novo meio plano extra, Figura 14 (b). Quando a discordância percorrer todo o cristal, um degrau de formará na superfície do mesmo, Figura 14 (c).

Assim, quanto maior a quantidade de planos de deslizamento, maior o deslocamento de discordâncias e maior a capacidade do material de se deformar.



**Figura 14.** Rearranjo que acompanha a movimentação de uma discordância em resposta a uma tensão cisalhante. (a) Meio plano extra de átomos A; (b) A discordância move-se a uma distância atômica a direita, de forma que A se ligue a parte inferior do plano B; (c) Um degrau se forma na superfície do cristal.  
Adaptado de (CALLISTER, 2012)

Deste modo, sólidos cristalinos com alto limite de escoamento, possuem em sua microestrutura elementos que impedem a movimentação das discordâncias. Assim, materiais com alta resistência a deformação são caracterizados como sólidos de alta resistência mecânica ou dureza.

Alta resistência a deformação pode ser traduzida como dificuldade de movimentação das discordâncias. Em outras palavras, se existirem, na microestrutura, elementos ou microconstituintes formadores de barreiras para a movimentação das mesmas, esses irão influenciar o comportamento mecânico do material. Deste modo, no caso dos materiais metálicos, a composição química e o processamento térmico, pelo qual o metal foi submetido, ditam a microestrutura final do mesmo e, conseqüentemente, a sua propriedade mecânica.

Por conseguinte, as teorias discutidas nesse tópico demonstram a importância da microestrutura nas propriedades mecânicas de um material metálico, sendo crucial a sua consideração em qualquer projeto de engenharia.

### 2.3.2. Zona de Tensões Residuais

Como citado anteriormente, os métodos de impressão mais utilizados, na indústria automobilística, são estampagem e gravação (vide item 2.2.1).

No processo de identificação por estampagem, quando um número é puncionado sobre a superfície de um metal, os grãos cristalinos, em torno e abaixo da cavidade criada, serão deformados e o alinhamento da estrutura cristalina será alterado, culminando na formação de regiões severamente distorcidas com grande acúmulo energético. É importante ressaltar que, a deformação em questão, não só estará confinada nos cristais imediatamente abaixo da marcação, como também se estenderá por uma região considerável ao longo da espessura do material. Essa região é conhecida como zona de deformação plástica, ou zona de tensões residuais, e sua extensão dependerá de características microestruturais do material, da técnica de impressão utilizada e da

carga aplicada, como discutido no item anterior. Um exemplo deste fato, está ilustrado na Figura 15, onde observar-se a zona de deformação plástica criada após a estampagem em um aço de baixo carbono. Nela é possível perceber a deformação intensa dos grãos cristalinos na zona 1 e a dispersão desta deformação ao longo da zona 2.



**Figura 15.** Micrografia óptica de um aço baixo carbono, após estampagem, 10x. Observa-se a mudança de forma dos grãos, zona 1, evidenciando a zona de deformação plástica, e a dispersão da deformação ao longo da zona 2, região não-deformada.

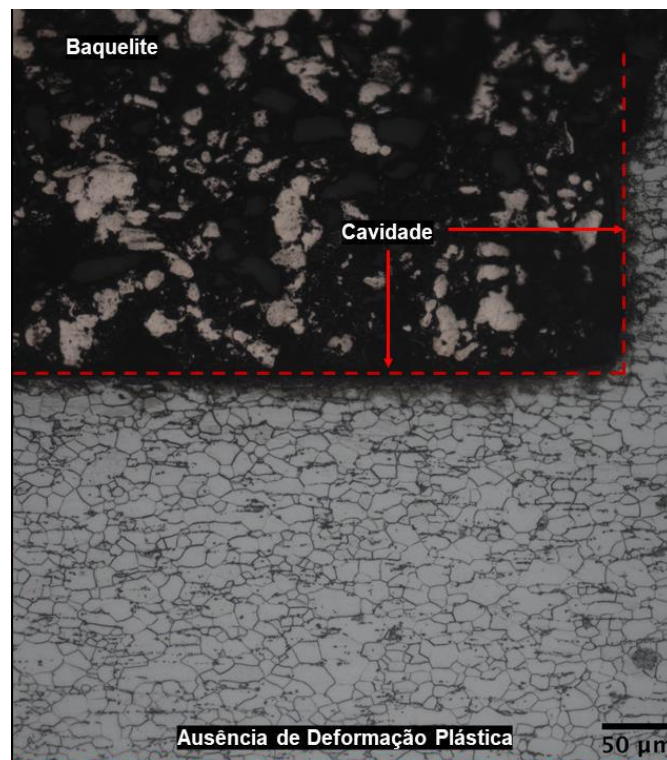
Segundo (KEHL, 1949, THORNTON & CASHMAN, 1976), no caso de chapas de Zinco, por exemplo, a zona de tensão residual pode chegar a profundidades, no mínimo, 20 vezes maior que a estampada, enquanto, no aço, a região pode possuir profundidades até 6 vezes maior do que a indentação. Porém, essa informação se restringe ao tipo de liga dos metais utilizados em suas pesquisas.

No caso de impressões por gravação, a marcação é realizada pela remoção do metal da superfície por técnicas mecânicas, elétricas ou a laser. Nestes casos, a deformação plástica causada na superfície, imediatamente abaixo a cavidade, será pequena ou



nula. Desta forma, a remoção desse tipo de marcação é relativamente fácil, porém a sua restauração possui um maior grau de dificuldade em comparação com a marcação por estampagem. (AZLAN MOHD. ZAILI *et al.*, 2007a)

A Figura 16 ilustra um exemplo de um aço de baixo carbono, o qual foi identificado por gravação. Nela não é possível notar uma deformação plástica significativa nos grãos cristalinos abaixo da cavidade.



**Figura 16.** Micrografia óptica de um aço baixo carbono, após gravação, 20x. Não é observado deformação plástica aparente na região abaixo da cavidade.

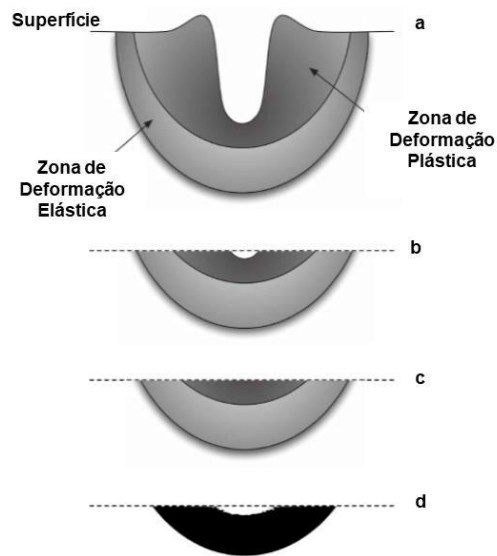
Em suma, para compreender o processo de restauração, é importante ter o conhecimento de que as zonas de tensão residual carregam informações sobre o código impresso. Um metal, como qualquer material cristalino, tem suas propriedades dependentes da sua estrutura cristalina. Quando esta sofre uma alteração, devido à uma indentação, por exemplo, as propriedades do material mudam; ou seja, a zona de deformação plástica possui propriedades físicas e químicas diferentes das regiões em que a microestrutura não foi deformada. Mudanças como: aumento da resistência mecânica, perda de ductilidade, variação de resistividade elétrica, variação de

comportamento magnético e de potencial químico são extremamente úteis para detectar regiões de tensão residual remanescentes após a remoção da cavidade originada pela marcação.

Por conseguinte, em um cenário onde um objeto, identificado por um número serial impresso em sua superfície, for adulterado, se a zona de deformação plástica, causada pela impressão original, ainda estiver presente na microestrutura do material talvez seja possível a recuperação do código serial original.

A Figura 17, exemplifica um caso da remoção de uma cavidade. Na Figura 17 (a) observa-se a cavidade originária de uma marcação por estampagem e abaixo desta encontram-se duas zonas de deformação: plástica (permanente) e elástica (não-permanente). Na Figura 17 (b) a cavidade foi parcialmente removida. Neste episódio, resíduos do lixamento ou esmerilhamento preenchem o espaço vazio deixado pela indentação, tornando-a imperceptível visualmente. Nessa situação, uma simples limpeza da superfície pode permitir ao examinador recuperar a numeração original. Na Figura 17 (c), é ilustrada uma situação em que a cavidade foi totalmente removida, entretanto, a zona de tensões residuais ainda está presente. Neste caso, a numeração original pode ser recuperada pelo uso de técnicas específicas. Contudo, é importante ressaltar que as regiões deformadas plasticamente geralmente se tornam mais difusas com o aumento da profundidade, então a possibilidade de revelação será dependente da profundidade dessas zonas e da sensibilidade da técnica aplicada (M & TURLEY, 1987). Por fim, a Figura 17 (d) ilustra um caso em que a cavidade e a zona de tensões residuais foram removidas totalmente, inviabilizando a recuperação.





**Figura 17.** Ilustração da seção transversal de uma indentação na superfície de um metal: (a) Duas zonas de deformação são observadas: Plástica (permanente) e elástica (não-permanente); (b) Lixamento gradual da cavidade criada; (c) remoção total da indentação, permanecendo apenas a zonas plástica e elástica; (d) remoção da zona plástica, tornando impossível a revelação.

Adaptação de (STRAUFFER & BONFANTI, 2006)

## 2.4. Técnicas de Recuperação para Materiais

### Metálicos

Antes de iniciar os fundamentos teóricos necessários para o entendimento das técnicas implementadas nesse trabalho, é necessário compreender como é praticada a restauração de marcações adulteradas, em veículos, no Brasil.

As restaurações são realizadas a céu aberto e dentro dos veículos, sem a possibilidade de extração de amostras para análise em laboratórios.

Portanto, métodos como: tratamento térmico, perfil de dureza, cavitação ultrassônica, difração de elétrons retroespalhados e visualização por refração ou reflexão de raios-X não seriam aplicáveis nessa realidade e não atenderiam a necessidade dos peritos dos órgãos de segurança nacional.

Sendo assim, os únicos métodos aplicados para esse fim são o ataque químico e, sua variação, ataque eletrolítico. Embora estes sejam aplicáveis em campo, o fato das

análises serem realizadas em céu aberto podem prejudicar a identificação das numerações reveladas, devido à variação de intensidade de luz externa atrelada ao baixo contraste que algumas revelações apresentam. Além disso, por se tratarem de métodos destrutivos, existem casos em que a repetição do procedimento não será possível, dependendo da profundidade da zona de tensões residuais (vide 2.3.2).

Outro agravante é o acesso a informações acerca da composição química das estruturas metálicas, sobre as quais são realizadas as identificações dos veículos e de suas peças. Este dado é tido como segredo industrial pelas montadoras, não sendo revelado, inclusive aos peritos, dificultando assim a restauração por técnicas que dependam da composição química do material.

Isto posto, nessa área, se faz imperativa a implementação de técnicas não destrutivas, as quais não comprometem a integridade da superfície analisada tornando possível a inspeção subsequente com outras técnicas quando preciso, e que sejam independentes da composição química do material.

Visando essa necessidade, foram escolhidas as técnicas de partículas magnéticas e a técnica baseada em visualização por efeito magneto-óptico, conhecida como corrente parasitas (CP) / magnetografia (M) / visualização magneto-óptica (VMO), utilizadas em laboratórios forenses internacionais, para serem avaliadas quantitativamente em comparação com o ataque eletrolítico.

#### **2.4.1. Visualização por Corrente Parasita (CP) / Magnetografia (M) / Visualização por Efeito Magneto-Óptico (VMO)**

A técnica utilizada nesse trabalho, se trata da análise, não destrutiva, voltada para investigar a superfície de materiais metálicos. Essa, como o próprio nome já diz, se resume a três passos: excitação de correntes parasitas na amostra (CP), gravação magnética ou magnetografia dos campos magnéticos induzidos pelas correntes

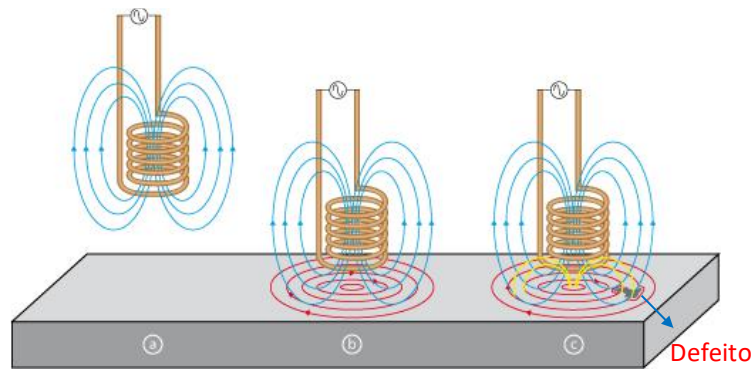
parasitas (M) e formação de imagem por efeito magneto-óptico da magnetografia (VMO). (AGALIDI *et al.*, 2011)

A fundamentação teórica necessária para o entendimento do princípio de funcionamento da técnica será abordada a seguir.

## **Correntes Parasitas**

O ensaio por correntes parasitas é uma técnica não destrutiva cujo princípio de funcionamento se baseia na teoria de indução eletromagnética para inspecionar materiais condutores elétricos. (ASM, 2004)

Uma bobina condutora, por onde passa uma corrente alternada de intensidade ( $I_{alt}(t)$ ), produz, segundo a lei de Biot-Savart, um campo magnético primário alternado de intensidade ( $H_p(t)$ ), associado a ela, Figura 18 (a). Quando essa se aproxima de um material condutor elétrico, o campo magnético primário alternado ( $H_p(t)$ ), segundo a lei de Faraday de indução, induzirá correntes parasitas alternadas e de intensidade ( $I_{CP}(t)$ ), na superfície do mesmo, e essas, por sua vez, também irão produzir um campo magnético secundário alternado de intensidade ( $H_s(t)$ ), Figura 18 (b). De acordo com a Lei de Lenz, as correntes parasitas terão sentido e direção tal que o campo magnético secundário, gerado por elas, se oponha as variações do campo magnético primário. É importante ressaltar que a densidade das correntes parasitas será máxima em camadas próximas a superfície do material condutor e dependente da frequência do campo magnético primário ( $H_p(t)$ ).



**Figura 18.** Etapas do ensaio de correntes parasitas. (a) Corrente alternada fluindo pela bobina a uma determinada frequência, gerando um campo magnético primário,  $H_p(t)$ , ao seu redor (linhas azuis); (b) Quando a bobina se aproxima da amostra condutora, a corrente parasita é induzida na mesma (linhas vermelhas); (c) Na presença de um defeito na amostra, a circulação da corrente parasita é perturbada variando o campo magnético secundário,  $H_s(t)$  (linhas amarelas).

Adaptado de (OLYMPUS, 1999)

Baseada nesse conceito, a técnica de corrente parasitas é um método comparativo, no qual a interação resultante entre o campo magnético primário e secundário será medida, tal que:

$$|H_R| = |H_P| - |H_S|, \text{ sendo } H \text{ o vetor de campo magnético.}$$

Na presença de um defeito, Figura 18(c), a circulação das correntes parasitas será alterada nas bordas do mesmo, influenciando, conseqüentemente, no campo secundário ( $H_s(t)$ ). Em outras palavras, o contorno do defeito se comporta como uma interface entre o material e um espaço vazio (preenchido por ar, gás, etc.), sendo este caracterizado por uma baixa ou nula condutividade elétrica. Devido à brusca variação de propriedades eletromagnéticas, o campo secundário ( $H_s(t)$ ) e, conseqüentemente o campo resultante ( $H_R(t)$ ), sofrerão uma alteração brusca de intensidade exatamente nas bordas da falha. (AGALIDI *et al.*, 2011, TROITSKIY *et al.*)

No caso da existência de zonas de tensão residual no interior do material, a detecção seguirá o mesmo princípio. Como foi mencionado anteriormente, essas regiões apresentam comportamento magnético e resistividade elétrica diferentes quando comparadas com as zonas não deformadas. Uma teoria acerca da causa desse

fenômeno é a interação de emaranhados e estruturas de discordâncias com as paredes de domínios magnéticos da amostra analisada (VOLKERS, 2008). Então, a condutância das correntes parasitas também será alterada devido à variação de propriedades eletromagnéticas entre essas zonas. Entretanto, a mudança de intensidade do campo magnético resultante, ( $H_R(t)$ ), será mais sutil em comparação com a provocada por um defeito.

Em adição, (AGALIDI *et al.*, 2011) em sua pesquisa, aponta a dependência da sensibilidade desse método quanto a distância entre bobina-superfície e a dimensão e profundidade do defeito. As equações que governam essa dependência estão escritas abaixo:

$H_P = \frac{I_{alt}}{2\pi r}$ , onde  $r$  é a distância entre bobina-superfície.

$H_S = (H_{SM_{max}}) \times \exp\left(-\frac{2\pi z}{\lambda}\right)$ , onde  $z$  é a profundidade e  $\lambda$  é a dimensão do defeito.

Portanto, quanto maior a distância entre a bobina e a superfície, menor será a intensidade do campo magnético primário,  $H_P(t)$ , em contato com a superfície da amostra e quanto maior a profundidade e menor o tamanho do defeito menor será a variação do campo magnético secundário.

## Gravação Magnética

Os processos de leitura e gravação têm evoluído devido à necessidade de se armazenar informações em áreas cada vez menores. As antigas Fitas Cassetes e fitas VHS, são um grande exemplo de dispositivos que utilizam efeitos magnéticos para gravação e leitura de dados. Hoje em dia, um exemplo da evolução dessa tecnologia são os discos flexíveis, rígidos ou ópticos, os quais apresentam elevada capacidade de armazenamento de informações. (CENTER, 2015)

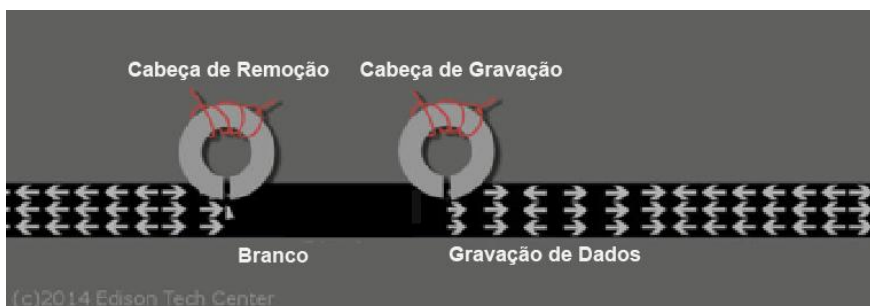
No sistema de gravação magnética utilizam-se materiais ferromagnéticos, os quais são caracterizados por apresentar uma resposta magnética, quando aplicado um campo

magnético externo, e por possuir a capacidade de manter a sua magnetização (propriedade intrínseca do material), mesmo após a descontinuidade do estímulo externo que a originou.

O processo de gravação baseia-se na aplicação de um campo magnético gerado por um transdutor, conhecido como cabeça de gravação, em um dispositivo capaz de armazenar informação magnética (Figura 19). Esses dispositivos são projetados a partir de combinações especiais de materiais com propriedades magnéticas específicas e de extrema sensibilidade à polaridade da cabeça de gravação.

Caso exista a necessidade da remoção dos dados gravados, um transdutor, conhecido como cabeça de remoção, irá desmagnetizar o material ferromagnético presente no meio magnético, ao incidir um campo magnético de mesma intensidade ao aplicado no processo de gravação, porém com sentido de polarização oposto.

A Figura 19 ilustra o processo de remoção de dados, por imposição de um campo magnético oposto ao armazenado pelo meio, seguido do processo de gravação de novas informações pela cabeça de gravação.



**Figura 19.** Ilustração de remoção e gravação de dados.

**Fonte:** Adaptado de (CENTER, 2015)

Atualmente, os meios magnéticos mais utilizados tanto em gravações em disco rígido ou fitas de áudio/vídeo como em sensores magnéticos são partículas de óxido férrico ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) ou de Ferro-Cobalto ( $\text{Fe-Co}$ ) depositadas em uma superfície polimérica, formando, assim, as fitas magnéticas. Esses grãos magnéticos serão polarizados como descrito anteriormente

A medição, mapeamento e visualização de campos magnéticos têm se tornado cada vez mais necessários em diversas áreas de pesquisa (NOVOTNÝ *et al.*, 2002). Para tal, foram criados os filmes magneto-ópticos (MO), os quais tem a capacidade de medir e armazenar o campo magnético gerado e através do efeito magneto-óptico, o qual será explicado a seguir, é possível converter essa informação magnética em uma imagem. Desta forma, os filmes MO tornam possível não só a visualização de defeitos localizados em análises não destrutivas, como: microtrincas, defeitos de soldagem e tensões residuais, como também podem ser utilizados para medir o campo magnético gerado por uma microestrutura condutora (LIM *et al.*, 2002, LEE J., LEE H., SHOJI T., 1998, P. NOVOTNY, 1992).

## **Efeito Magneto-Óptico**

Os efeitos magneto-ópticos são divididos em três categorias: transmissão, reflexão e absorção de luz por um meio magnético. Esse texto focará apenas no modo de transmissão, por esse ser o método abordado pelo equipamento de leitura magneto-óptica empregado neste trabalho.

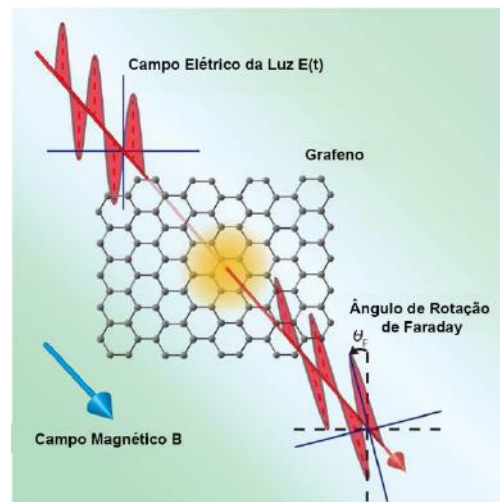
O modo de transmissão refere-se à interação entre a matéria magnetizada e uma onda eletromagnética, a qual se propaga através dela. Ao atravessar um meio magnético transparente, a onda, inicialmente, linearmente polarizada irá sofrer uma alteração na sua direção de polarização, caracterizando o efeito Faraday. Esse efeito, descreve a capacidade do campo magnético em dividir os níveis de energia e a frequência de ressonância inicial ( $\nu_0$ ) em duas ( $\nu_1 > \nu_0$  e  $\nu_2 < \nu_0$ ), resultando em uma birrefringência, ou seja, uma onda, a qual, inicialmente possuía apenas um eixo de propagação (linear), apresentará uma dupla dispersão, apresentando duas componentes, uma circular polarizada esquerda com frequência  $\nu_1$  e outra circular polarizada direita com frequência  $\nu_2$ . Ao ser transmitida, ultrapassando a interface meio magnético/ar, as duas componentes se combinam dando origem a uma onda elipticamente polarizada (BRANSKY, 1981).

Para materiais isotrópicos, o ângulo de rotação do plano de polarização da luz,  $\Theta_F$ , é proporcional a espessura do material,  $s$ , e a intensidade do campo magnético,  $B$ :

$$\Theta_F = V(\lambda, T).s.B$$

Onde  $V$ , chamada de constante de Verdet é uma constante de proporcionalidade intrínseca ao material magnético em questão. Essa depende do comprimento de onda e da temperatura do mesmo.

A Figura 20 ilustra o fenômeno de rotação de Faraday, nela observa-se que uma luz linearmente polarizada incidirá em um meio magnetizado (grafeno) e será transmitida através deste, com um ângulo de rotação  $\Theta_F$ . Desta forma, na leitura magneto-óptica para obtenção de imagem, essa variação de polarização será convertida em uma distribuição de contrastes sendo possível a formação de uma imagem relacionada com a variação do campo magnético do meio em que a luz foi transmitida.



**Figura 20.** Ilustração da rotação do plano de orientação de uma onda eletromagnética linearmente polarizada, ao ser transmitida pela estrutura do Grafeno submetida a um campo magnético  $B$ .

**Fonte:** Adaptado de *UTokyo Research*

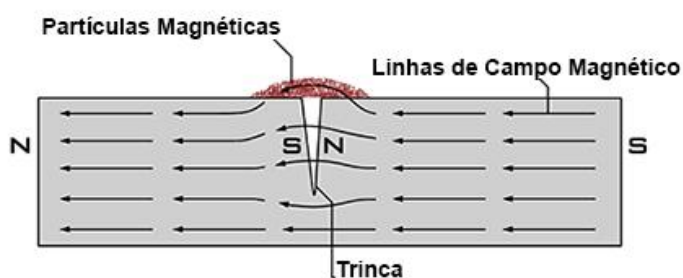
## 2.4.2. Inspeção por Partículas Magnéticas (IPM)

A inspeção por partículas magnéticas (IPM) é um método não destrutivo amplamente utilizado na detecção de defeitos superficiais e subsuperficiais. Apresenta as vantagens de inspecionar superfícies rugosas, dispensando tratamentos superficiais rigorosos,



possibilidade de análise em alta e baixa temperatura, ter baixo custo, ser portátil e de rápida aplicação. Contudo, possui a limitação de ser restrito a materiais ferromagnéticos, além da impossibilidade de detectar falhas profundas, de pequeno tamanho e paralelas ao fluxo de campo.

Sua aplicação se resume na incidência de um campo magnético externo sobre um material ferromagnético, proveniente de um ímã permanente ou induzido por uma corrente alternada (eletroímã), seguido da dispersão de partículas magnéticas sobre a superfície do mesmo. Na existência de uma falha no interior do material, o campo magnético, ao ir de encontro com a lacuna de ar criada por ela, se espalha e a contorna. Isto ocorre, pois, o ar possui baixíssima permeabilidade magnética em comparação com o material. Deste modo, dipolos são criados nas bordas da falha, de tal forma que o campo magnético sai pelo polo norte e reentra, no material, pelo polo sul, Figura 21. Esse desvio feito pelo campo magnético é chamado de campo de fuga. (NDT, 2016)



**Figura 21.** Ilustração do fluxo de campo magnético e dos campos de fuga gerados pela presença de uma trinca. As partículas magnéticas se concentram nos polos formados nas bordas do defeito.

**Fonte:** Adaptado de (CENTER, 2017)

Ao serem dispersas na superfície da amostra analisada, as partículas magnéticas serão atraídas pelos polos criados nas bordas dos defeitos, se aglomerando nessa região, tornando possível ao inspetor a detecção do defeito por inspeção visual. Em adição, um dos requisitos primários para a detecção de falhas em uma peça ferromagnética é o campo magnético induzido interceptar o defeito em uma angulação de 45° a 90°. Desta forma, durante a inspeção, é aconselhável a indução do campo magnético em pelo menos duas direções diferentes.

As partículas utilizadas nessa inspeção são normalmente feitas de limalhas de ferro ou óxido de ferro e são comercializadas por via seca ou via úmida. Via seca, como o próprio nome já diz, são partículas magnéticas aplicadas a seco; nessa aplicação as partículas são dispersas pela superfície com o auxílio de aplicadores de pó manuais ou bombas aspersoras que pulverizam as partículas sobre a peça. Via úmida é o método de ensaio pelo qual as partículas se encontram suspensas em uma solução, podendo ser óleo, água ou querosene; a preparação da suspensão é muito importante para a garantia da homogeneização do banho e dispersão das partículas na superfície analisada. (ANDREUCCI, 2014, NDT, 2016)

Por fim, apesar de ser uma técnica popular na ciência forense, alguns laboratórios internacionais reportam um baixo índice de sucesso ao aplica-la em suas análises. Entretanto, (UTRATA & JOHNSON, 2003) ressaltam que o baixo índice de sucesso é uma consequência da não existência de um procedimento padrão para restauração de marcações adulteradas com partículas magnéticas, o que os motivou a testar e criar metodologias visando o aumento da taxa de êxito dessa inspeção na área em questão. Já (M & TURLEY, 1987), em sua pesquisa, relata o bom desempenho da inspeção por partículas magnéticas na recuperação de marcações originais, em chapas de aço ferrítico-perlítico, sendo mais sensível na recuperação de novas marcações do que o ataque químico.

### 2.4.3. Ataque Químico e Eletrolítico

O ataque químico se trata, basicamente, de um processo de corrosão controlada resultante da ação eletrolítica entre áreas de diferentes potenciais químicos. As regiões deformadas, são quimicamente mais ativas e, conseqüentemente, serão corroídas preferencialmente, ou a uma taxa maior, em comparação com as regiões não afetadas. O resultado esperado é a criação de um contraste visível, ocasionado pela reflexão ou dispersão diferencial da luz nas zonas de tensão residual, tornando possível a revelação da marcação original.

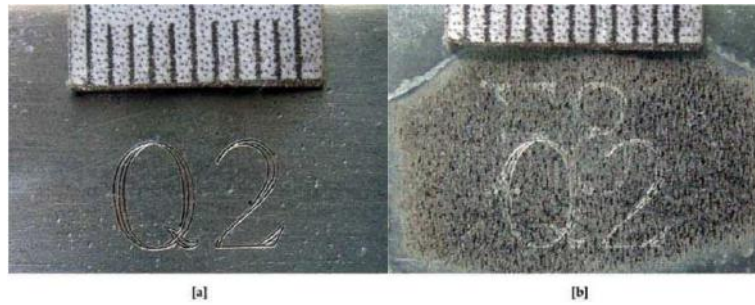
Antes de iniciar o processo de revelação, é necessário preparar metalograficamente a superfície do material analisado. Primeiramente, o material deve ser lixado com abrasivos grosseiros, como lixas d'água, seguindo a sequência usual de granulometrias, e, em seguida, polido com abrasivos finos. (KEHL, 1949, VANDER VOORT, 1984, 1986)

Após a preparação da superfície, o reagente é aplicado na região adulterada, podendo ser aplicado com um algodão. Esse processo é repetido várias vezes, sempre analisando a superfície, entre as aplicações, lembrando que é comum diferentes partes da sequência numérica serem reveladas em tempos diferentes e/ou desaparecerem logo após se tornarem visíveis. Outro método de aplicação do reagente, muito utilizado em blocos de motor, é criar uma armação de argila, em volta da área a ser analisada, e adicionar o reagente. (KUPPUSWAMY, 2010, AZLAN MOHD. ZAILI *et al.*, 2007a)

A escolha do reagente dependerá da composição química e da microestrutura do material a ser analisado. Segundo a literatura, o reagente de fry com composição: 90g de Cloreto de Cobre (II) ( $\text{CuCl}_2$ ), 120 ml de ácido clorídrico (HCl) e 100 ml de Água ( $\text{H}_2\text{O}$ ), é o mais utilizado para revelação em chapas de aço, em geral, por possuir a maior taxa de sucesso. (GIESSEN BILL *et al.*, 1975, YIN & KUPPUSWAMY, 2009, STREET & AWARD, 2015, STRAUFFER & BONFANTI, 2006)

A Figura 22 ilustra uma revelação por ataque químico em uma liga de Al-Zn-Mg-Cu onde foi possível recuperar a marcação inicial "F8". Entretanto, esse processo teve duração de 8 horas. Com base na literatura, o tempo de revelação por ataque químico pode variar de minutos a várias horas. (AZLAN MOHD. ZAILI *et al.*, 2007a, IZHAR MOHD *et al.*, 2008, KUPPUSWAMY, 2010, FORTINI *et al.*, 2016, RICHA *et al.*, 2013)

Segundo (KUPPUSWAMY, 2010), fotografia é o melhor método de registro das revelações por essa técnica. Contudo, a aquisição é dificultada, devido às marcações recuperadas serem inerentemente fracas e o contraste com o fundo ser geralmente pobre, exigindo habilidade do perito com técnicas de macrofotografias e na manipulação da iluminação externa, Figura 22.



**Figura 22.** Exemplo de revelação por ataque químico por imersão. (a) Gravação original “F8” removida da superfície e regravada com o código “Q2”; (b) Restauração do código original. (KUPPUSWAMY, 2010)

## Ataque Eletrolítico

O ataque eletrolítico se baseia em uma variação do ataque químico convencional, no qual é adicionado uma corrente elétrica no processo de ataque, acelerando o processo corrosivo. Nesse processo, o metal a ser corroído funcionará como o anodo, em um banho eletrolítico do reagente específico. O catodo é composto por um fio com um algodão em sua extremidade, o qual deve ser embebido na solução e friccionado gentilmente na superfície do metal, como ilustrado na Figura 23. A tensão inicial aplicada deve ser abaixo do potencial de decomposição do reagente e para cada metal e solução existem uma amperagem e voltagem ideais, as quais produzirão os melhores resultados, entretanto, essas devem ser determinadas experimentalmente. (STRAUFFER & BONFANTI, 2006)



**Figura 23.** Exemplo de uma arma sendo inspecionada por ataque eletrolítico.  
**Fonte:** *Crime Scene Training*.

## 3. Materiais e Métodos

### 3.1. Descrição das Amostras

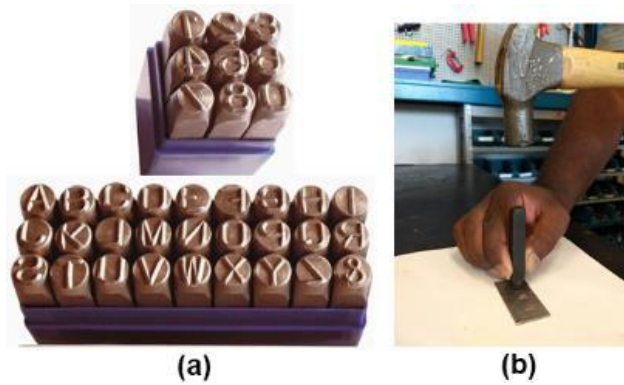
Neste trabalho foram utilizadas chapas retiradas de partes do chassi de dois veículos desconhecidos, denominados como: Veículo A e Veículo B. Após a obtenção, as amostras foram destinadas ao estudo da restauração de códigos seriais, a caracterização dos materiais que compõem o chassi de cada veículo e a medição da profundidade de zona de deformação plástica. As descrições das amostras, empregadas em cada um dos estudos mencionados, serão tratadas a seguir.

#### **Estudo da Restauração de Códigos Seriais**

Nessa etapa, foram cortadas 6 amostras, 2 originárias do veículo A e 4 originárias do veículo B, com um comprimento (C) mínimo de 40 mm, altura (A) mínima de 30 mm e espessura (E) mínima de 1,45 mm, como demonstrado na Tabela 2.

Após o corte, foi realizado, em cada uma das amostras, um processo de identificação para avaliar as consequências das técnicas de impressão aplicadas na profundidade de deformação plástica e na profundidade de restauração das marcações originais pelas técnicas propostas. Para tal, foram implementados os seguintes métodos de marcação:

- a) Estampagem: nesse foram utilizados marcadores de 8 mm, como representado na Figura 24 (a). Após a seleção dos marcadores a identificação das amostras foi realizada manualmente por punção conforme ilustrado na Figura 24 (b). O método de estampagem foi empregado na marcação das amostras originárias do veículo A denominadas: veículo A\_1, veículo A\_2 e originárias do veículo B, denominadas: veículo B\_1 e veículo B\_2.



**Figura 24.** Estampagem por punção manual: (a) Marcadores de 8 mm; (b) Estampagem das amostras.

- b) Gravação: reproduzida por usinagem por meio da fresadora *Nardini CNC PETRUS 50100R* (Figura 25) com uma broca de 1,5 mm de diâmetro e utilizada na identificação das amostras originárias do veículo B, denominadas: veículo B\_3 e veículo B\_4.



**Figura 25.** Fresadora *Nardini PETRUS 50100R*

O processo de identificação das amostras foi realizado com base na norma ABNT e na resolução do CONTRAN que ditam, para impressão de número de identificação veicular (VIN), uma profundidade mínima de 200  $\mu\text{m}$  e altura mínima de 7 mm para cada caractere. (ABNT, 2001, CONTRAN, 1985)

A profundidade de cada símbolo foi medida com o perfilômetro *Bruker* modelo *Dektak XT*, Figura 26.



**Figura 26.** Perfilômetro *Bruker Dektak XT*.

Após a identificação, as amostras sofreram dois tipos de adulteração: adulteração por remoção e adulteração por remarcação. O procedimento adotado nessa etapa consistiu na remoção dos caracteres iniciais por lixamento, fazendo uso de uma lixa d'água P60, seguido da remarcação, por estampagem, de novos códigos na amostra proveniente do veículo A, denominada: veículo A\_2 e nas amostras provenientes do veículo B: veículo B\_2 e veículo B\_4, por estampagem. Vale ressaltar que os novos códigos de identificação foram escolhidos de forma a dificultar a restauração das marcações iniciais, ou seja, os símbolos escolhidos apresentam padrões e formas semelhantes aos originais.

As informações referentes a nomenclatura adotada para rastreabilidade das amostras estudadas, assim como as dimensões, o tipo de impressão usado e o tipo de adulteração aplicado para cada amostra estão descritos na tabela a seguir.

**Tabela 2.** Descrição das amostras destinadas ao estudo da restauração de códigos seriais.

<b>Veículo</b>	<b>Nomenclatura</b>	<b>Dimensões (CxAxE) (mm)</b>	<b>Tipo de Impressão</b>	<b>Tipo de Adulteração</b>
<b>Veículo A</b>	Veículo A_1	40 x 30 x 1,45	Estampagem	Remoção
	Veículo A_2	40 x 30 x 1,45	Estampagem	Remarcação
<b>Veículo B</b>	Veículo B_1	55 x 30 x 1,54	Estampagem	Remoção
	Veículo B_2	54 x 30 x 1,51	Estampagem	Remarcação
	Veículo B_3	50 x 30 x 1,47	Gravação	Remoção
	Veículo B_4	50 x 30 x 1,51	Gravação	Remarcação

É importante ressaltar que, nesse trabalho, as amostras não foram submetidas a preparação metalográfica, após a adulteração. O objetivo disto foi avaliar e comparar as técnicas de ataque eletrolítico, inspeção por partículas magnéticas e visualização magneto-óptica (CP/M/VMO) quanto a influência da **não** preparação superficial nos resultados finais, pois, como citado no item 2.4, as condições da restauração realizada pelos peritos brasileiros, em alguns casos, inviabilizam a preparação metalográfica minuciosa, como realizada em laboratório. Em ocorrências de elevadas rugosidades ou camadas espessas de óxidos, os peritos utilizam solventes e fricção com palha de aço ou uma lixa fina.

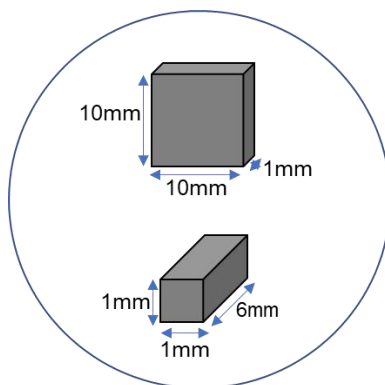
Após a adulteração, as amostras seguiram para a etapa de revelação sendo essas inspecionadas pelas técnicas de CP/M/VMO, partículas magnéticas (PM) e ataque eletrolítico, nesta ordem. A amostra veículo B\_1 foi utilizada para avaliar o limite de detecção das técnicas quanto a profundidade de restauração, ou seja, profundidade de zona de deformação plástica detectada. Para tal, a amostra sofreu uma perda sucessiva de aproximadamente 0,2 mm de espessura, a cada série de inspeção. O procedimento



adotado possibilitou a avaliação a uma profundidade de restauração de até 0,67 mm abaixo da cavidade criada pelo código inicial.

## Caracterização dos Materiais

Para caracterização dos materiais a serem estudados foram cortadas 2 amostras provenientes de cada um dos veículos, denominadas: veículo AC\_1 (originária do veículo A) e veículo BC\_1 (originária do veículo B), de 10 mm x 10 mm x 1 mm, para as análises microestrutural e de microdureza. Para análise magnética, foram cortadas 2 amostras provenientes de cada um dos veículos, denominadas: veículo AC\_2 (originária do veículo A) e veículo BC\_2 (originária do veículo B), de 1 mm x 1 mm x 6 mm. A geometria das 4 amostras está ilustrada na Figura 27.



**Figura 27.** Amostras destinadas a caracterização microestrutural, mecânica (microdureza) e magnética e química.

As informações referentes a nomenclatura adotada para rastreabilidade das amostras analisadas, bem como as dimensões e o método de caracterização realizada em cada amostra estão descritas na Tabela 3.

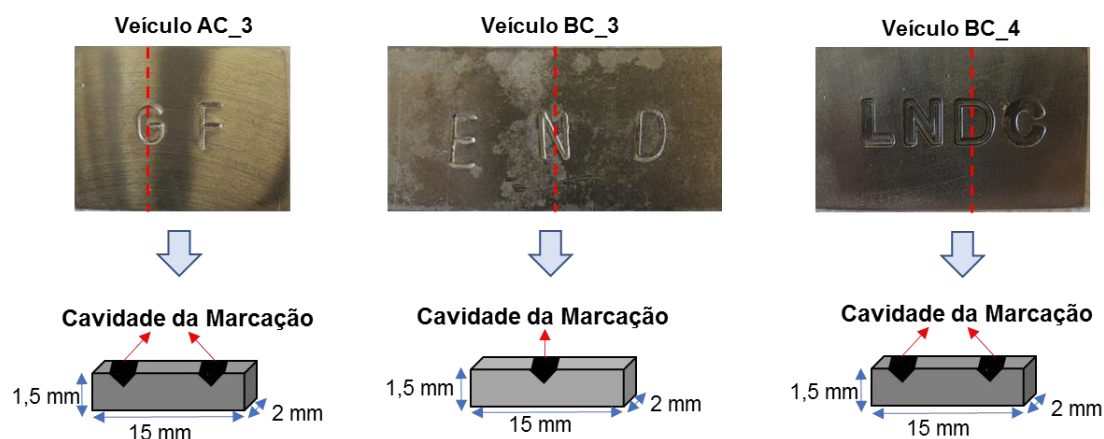
**Tabela 3.** Descrição das amostras destinadas a caracterização dos materiais estudados

<b>Veículo</b>	<b>Nomenclatura</b>	<b>Dimensões (mm)</b>	<b>Caracterização</b>
<b>Veículo A</b>	Veículo AC_1	10 x 10 x 1	Análise microestrutural e microdureza
	Veículo AC_2	1 x 1 x 6	Análise magnética e química
<b>Veículo B</b>	Veículo BC_1	10 x 10 x 1	Análise microestrutural e microdureza
	Veículo BC_2	1 x 1 x 6	Análise magnética e química

### **Medição de Profundidade de Zona de Deformação Plástica**

Para análise da profundidade de zona de deformação plástica, amostras marcadas por estampagem e gravação foram cortadas transversalmente, de forma que a linha de corte foi inserida exatamente sobre o código de identificação impresso em cada uma delas, como demonstrado Figura 28. O corte foi efetuado com o cortador ISOMET, com lubrificação, para evitar aquecimento da amostra durante o corte e um possível relaxamento das tensões internas provocadas pela marcação. As amostras transversais foram embutidas com baquelite.

Por fim, nesse processo foram analisadas 3 amostras de 1,5 mm x 15 mm x 2 mm: uma amostra proveniente do veículo A e identificada por estampagem, denominada: veículo AC\_3 e duas amostras originárias do veículo B, denominadas: veículo BC\_3, (identificada por estampagem) e veículo BC\_4 (identificada por gravação).



**Figura 28.** Amostras destinadas a medição de profundidade de zona de deformação plástica. As informações referentes a nomenclatura adotada para rastreabilidade das amostras analisadas, bem como as dimensões e o método de medição de profundidade de zona de deformação plástica empregado, realizados em cada amostra, estão descritas na Tabela 4.

**Tabela 4.** Descrição das amostras destinadas a medição de zona de deformação plástica.

Veículo	Identificação das Amostras	Dimensões (mm)	Método de Medição de Profundidade de Zona de Deformação Plástica	Tipo de marcação estudada
<b>Veículo A</b>	Veículo AC_3	1,4 x 15 x 2	perfil de microdureza	Estampagem
<b>Veículo B</b>	Veículo BC_3	1,4 x 15 x 2	perfil de microdureza	Estampagem
	Veículo BC_4	1,4 x 15 x 2	perfil de microdureza	Gravação

Por fim, todas as amostras destinadas a caracterização foram preparadas metalograficamente, seguindo a sequência usual de lixas d'água de P100 a P1500, rotacionando a amostra por 90° a cada mudança de lixa, e polidas com pasta de diamante de 3 µm e 1 µm.

## 3.2. Espectômetro de Emissão Óptica

Para realização da caracterização química dos materiais foi utilizado o espectrômetro de emissão óptica, da empresa *Spectro modelo SPECTROMAXx*.

Devido ao desconhecimento com relação as propriedades dos materiais utilizados, a implementação desta análise teve como objetivo obter a composição química dos mesmos.

Para tal, o ensaio foi empregado segundo a norma ASTM E 415/2015. Em adição, os parâmetros aplicados nesta análise foram: método Fe-10 F, temperatura de 21 °C e umidade de 59%.

## 3.3. Microscopia ótica

As amostras longitudinais e transversais foram analisadas pelo microscópio *ZEISS AXIO Imager M1.m* visando a caracterização microestrutural dos aços em questão e a análise da zona de deformação plástica.

Para tal, cada amostra foi atacada com o reagente Nital 2% com composição: 2 mL de HNO<sub>3</sub> e 98 mL de álcool etílico, por 9 segundos, com uma pausa a cada 3 segundos para aquece-las e retornar à solução.

## 3.4. Microdureza Vickers

Após a obtenção das micrografias, foi realizado o ensaio destrutivo de microdureza nas amostras longitudinais e transversais. Nesta etapa foi utilizado o microdurômetro *BUHLER MICROMET S114* com indentador de diamante *vickers*; as indentações foram produzidas com um carregamento de 500 g por 15 segundos. O objetivo desta análise foi medir a microdureza nas regiões não deformadas (amostras longitudinais), como complemento na caracterização do aço, e também estimar a profundidade da zona de deformação plástica através de um perfil de microdureza desde a região imediatamente abaixo da cavidade, criada pela marcação, até a extremidade oposta do material. Os

valores das microdurezas ao longo da espessura foram comparadas com os valores obtidos nas zonas não deformadas.

### 3.5. Magnetômetro de Amostra Vibrante (VSM)

Para realização da caracterização macroscópica magnética dos materiais foi utilizado o magnetômetro de amostra vibrante (Vibrating Sample Magnetometer, VSM), da empresa *LakeShore*® modelo *EM4 – HVA*.

Devido ao desconhecimento do material de origem das amostras, o objetivo de utilizar o VSM foi conhecer o comportamento magnético dos mesmos através da curva de histerese.

Para obtenção de tal, foi utilizado um ciclo padrão de magnetização, com um campo magnético aplicado (H) variando entre 0 a 10.000 Gauss, o que permitiu a medida de magnetização (M). Com a medida das massas de cada amostra, em uma balança de precisão, conseguiu-se os valores de magnetização (M) em emu/g.

Após a obtenção dos dados da análise magnética, os mesmos foram tratados com o auxílio da ferramenta *MatLab* para obtenção da curva de histerese (M x H) de cada material.

### 3.6. Revelação por CP/M/VMO

Na inspeção das amostras foi utilizado o equipamento de Magnetografia por Corrente Parasita de Superfícies Metálicas, modelo: 7515, o leitor Magneto-óptico, modelo: 7505 e o *software Nuca*® para a obtenção da imagem, da empresa *Regula Forensics* (Figura 29).



**Figura 29.** Ilustração do equipamento. (a) Indutor de correntes parasitas (Regula 7515);  
(b) Leitor Magneto-Óptico (Regula 7505).

O procedimento adotado nessa análise deteve os seguintes passos (AGALIDI *et al.*, 2011, SCIENCE SYSTEMS, 2010):

- i. Preparação da fita magnética: Limpeza de dados previamente armazenados seguido de sua magnetização e saturação.
- ii. Magnetografia: Após a preparação, a fita foi fixada na superfície da amostra por fitas adesivas. Posteriormente, o meio magnético e a superfície da amostra foram varridos por um indutor de correntes parasitas.
- iii. Obtenção da imagem do magnetograma por efeito magneto-óptico: Após a realização do magnetografia, a fita foi levada ao leitor magneto-óptico, onde foi incidido uma onda eletromagnética, linearmente polarizada, sobre ela. A variação do plano de polarização da onda eletromagnética em diferentes ângulos foi transformada em uma distribuição espacial de brilho e contraste, a qual foi convertida em uma imagem magneto-óptica capturada, posteriormente, pela câmera conectada ao computador.
- iv. Processamento da imagem e análise do defeito: A formação da imagem e sua captura, bem como a correção de distorções do sistema ótico e junção panorâmica de imagens magneto-ópticas da magnetografia, foram automaticamente executadas pelo *software* “NUCA” instalado no *PC*.

### 3.7. Revelação por Partículas Magnéticas

Na revelação por partículas magnéticas foram utilizadas partículas fabricadas pela empresa Metal Chek para aplicações via seca, modelo *RD65* na cor vermelha, e via úmida, modelo *BW333* na cor preta. As partículas foram aplicadas como sugeridas pelo fabricante e pela literatura. (ANDREUCCI, 2014)

Por via seca, as partículas foram administradas por aspersão através de um pulverizador “via seca” próprio para este método.

Por via úmida, primeiramente, foi preparada a solução na concentração sugerida pelo fabricante de 9g/L. Após a preparação da solução, foi realizado o teste de concentração de acordo com a norma ASTM E-709, no qual foi utilizado um tubo decantador em formato de pêra (Figura 30).

Para o teste, foram retirados 100 ml da solução pronta e postos no decantador. Após 30 minutos, foi verificada, na base do tubo, a quantidade em ml de partículas decantadas. Segundo a norma, os valores recomendados são de 1,2 a 2,4 ml para inspeção por via úmida de partículas observadas sobre a luz branca ou natural. No caso das partículas utilizadas neste estudo, a graduação no teste de concentração foi de 2,0 g/L, certificando a adequação da solução para a inspeção. A aplicação da solução sobre as chapas foi realizada por intermédio de um pulverizador.

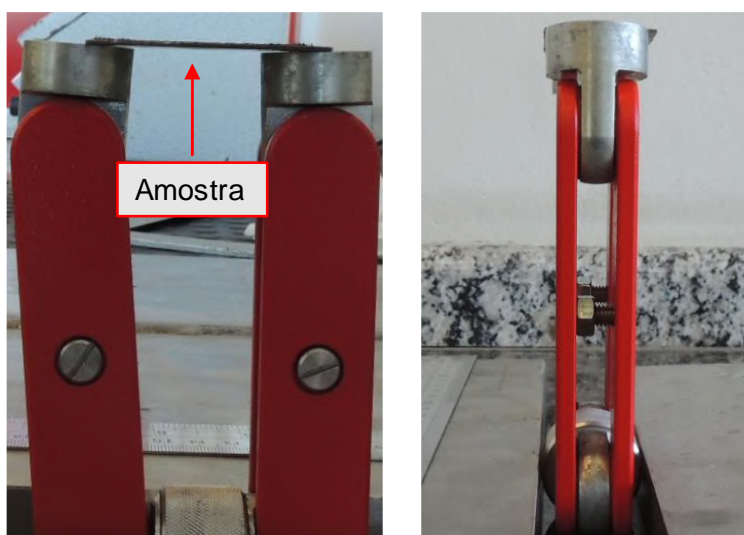


**Figura 30.** Ilustração do teste de concentração com decantador tipo “pêra”.

Para intensificar o contraste, foi utilizada uma tinta contraste de cor branca fabricada pela Metal Chek (Figura 31) e para magnetização foi utilizado um ímã permanente com 300 mT medidos na face do ímã (Figura 32). Neste trabalho, o eletroímã (Yoke), disponibilizado pelo laboratório, não foi utilizado na inspeção, pois seu tamanho impossibilitou a análise das amostras em questão.



**Figura 31.** Amostra com a tinta contraste aplicada.

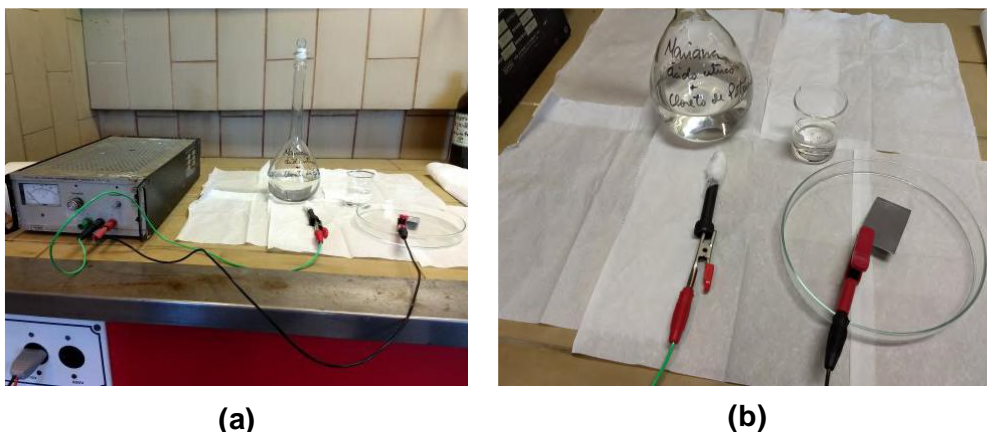


**Figura 32.** Ímãs permanente com a amostra posicionadas sobre eles.

### 3.8. Recuperação por Ataque Eletrolítico

Na recuperação por ataque eletrolítico, foi implementado o procedimento empregado, atualmente, pelos peritos brasileiros. O reagente utilizado foi o *Polyraider* com seguinte composição: 75 g de ácido cítrico, 112,5 g de cloreto de potássio e 900 ml de água destilada, e a configuração utilizada está ilustrada na Figura 33.





**Figura 33.** Configuração do ataque eletrolítico: (a) Anodo e catodo conectados a fonte de tensão estabilizada *Tectrol*, modelo TC 20-33; (b) Catodo: algodão embebido com solução, anodo: chapa a ser corroída.

A restauração por ataque eletrolítico foi executada aplicando uma voltagem padrão de 3 V. O catodo, com o algodão em sua extremidade, foi frequentemente embebido na solução e aplicado sobre o anodo (chapa a ser corroída) por fricção. Após o ataque, as amostras eram lavadas com água, para cessar o processo corrosivo, e secadas com álcool etílico e jato de ar. Em seguida, elas foram encaminhadas para aquisição de dados por intermédio de uma câmera fotográfica.

## 4. Resultados e Discussões

### 4.1. Caracterização dos Materiais

#### 4.1.1. Espectômetro de Emissão Óptica

As composições químicas obtidas das amostras veículo AC\_2 e veículo BC\_2 serão descritas nas Tabelas 5 e 6.

**Tabela 5.** Composição química da amostra veículo AC\_2.

Fe	C	Al	Si	Ti	Mn
99,6%	0,002%	0,037%	0,001%	0,041%	0,154%

**Tabela 6.** Composição química da amostra veículo BC\_2.

Fe	C	Al	Si	Ti	Mn
99,5%	0,05%	0,046%	0,003%	0,001%	0,320%

Com base nos percentuais obtidos de cada elemento na amostra veículo AC\_2 e segundo (ARCELORMITTAL, 2017, MORAES & CARVALHO, 2016) a composição química encontrada é referente a um aço de ultra baixo carbono, mais especificamente um aço *intersticial free* (IF), o qual é caracterizado pela ausência de elementos intersticiais em sua matriz ferrítica (FIETO, 2013).

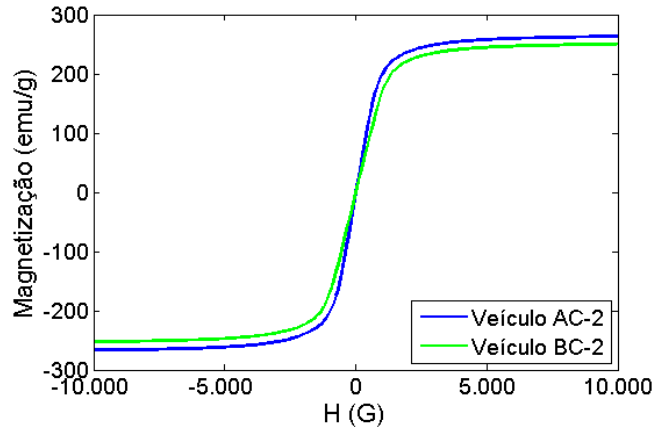
No caso da amostra veículo BC\_2, com base nos valores obtidos e segundo (ZHANG *et al.*, 2002, GERDAU, 2003), a composição química encontrada é característica de um aço de baixo carbono, provavelmente um aço 1005 ( C < 0,06% e Mn < 0,35).

#### 4.1.2. Magnetômetro de Amostra Vibrante (VSM)

Através do VSM foi possível obter a informação quanto o comportamento magnético dos materiais proveniente do chassi dos veículos A e B.

Através da curva de histerese obtida para cada veículo, representada na Figura 34, observa-se que ambos materiais não apresentaram histerese, ou seja, as curvas possuem o mesmo caminho de ida ( H variando de -10.000 a 10.000 G) e de volta (H variando de 10.000 G a -10.000 G).

Além disso, nota-se que a amostra veículo AC\_2 satura magneticamente quando o campo magnético aplicado atinge um valor de 5.270 G, apresentando um valor de magnetização de 262,5 emu/g. Em adição, analisando a curva característica da amostra veículo BC\_2, observa-se que esta satura magneticamente quando o campo aplicado atinge 5.675 G, apresentando uma magnetização de 250 emu/g.



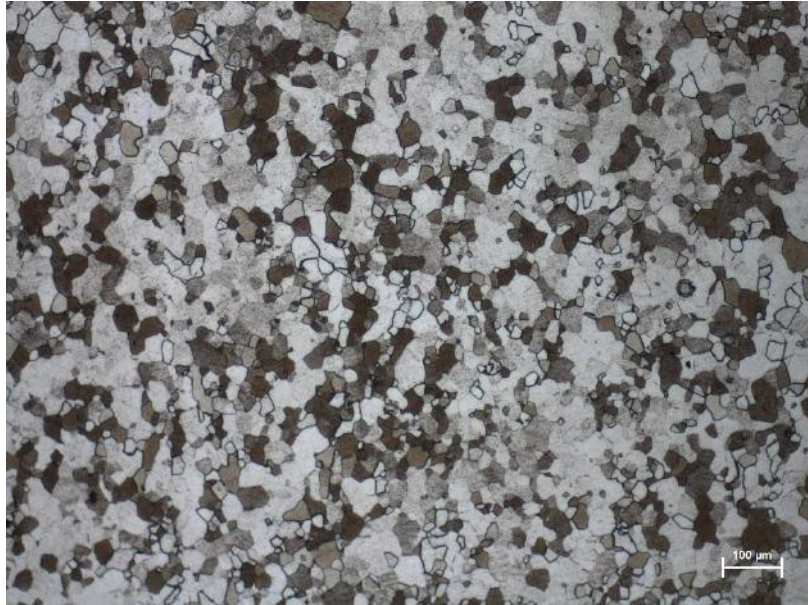
**Figura 34.** Curva de Histerese em Gauss (G) das amostras: **veículo AC\_2** e **veículo BC\_2**.

Por conseguinte, como os dois materiais apresentam valores de magnetização significativos, pode-se observar que ambos apresentam um comportamento ferromagnético. Outrossim, com base nos valores obtidos de saturação magnética e magnetização, pode-se afirmar também que os materiais do chassi dos veículos A e B apresentam características similares no que diz respeito ao comportamento magnético.

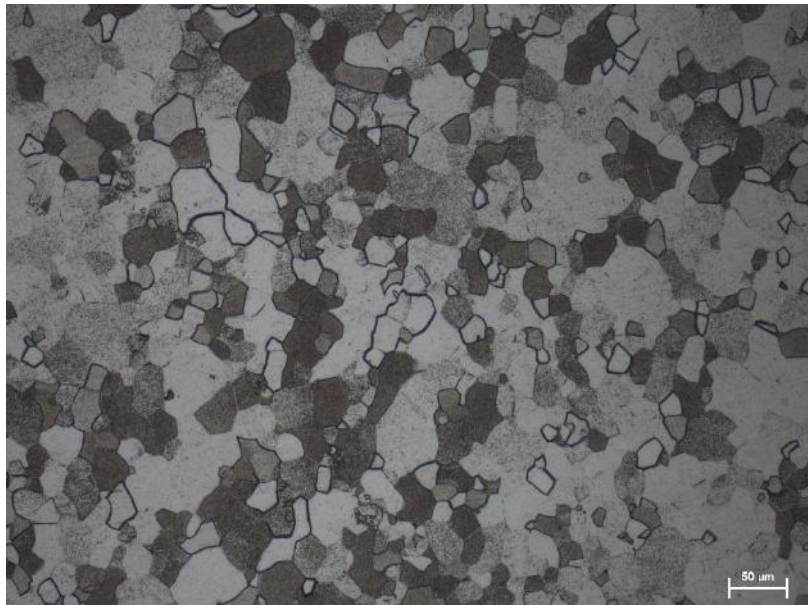
### 4.1.3. Microscopia Óptica

Com base nas micrografias ópticas obtidas das amostras veículo AC\_1 e veículo BC\_1, pode-se notar que o aço presente, em ambos materiais, são predominantemente ferríticos. Os resultados que validam essa afirmação serão apresentados a seguir.

Na amostra veículo AC\_1 (Figura 35 e Figura 36), não foi possível revelar todos os contornos de grãos e, além disso, a revelação destes não foi uniforme, sendo corroídos pelo reagente em taxas diferentes. Esse fato, produziu a diferença de tons entre os grãos de ferrita, de forma que os mais escuros foram atacados primeiramente e, no objetivo de revelar o máximo da microestrutura possível, foram excessivamente corroídos pelo ácido.



**Figura 35.** Micrografia longitudinal da amostra veículo AC\_1. Aumento: 100x.



**Figura 36.** Micrografia longitudinal da amostra veículo AC\_1. Aumento: 200x

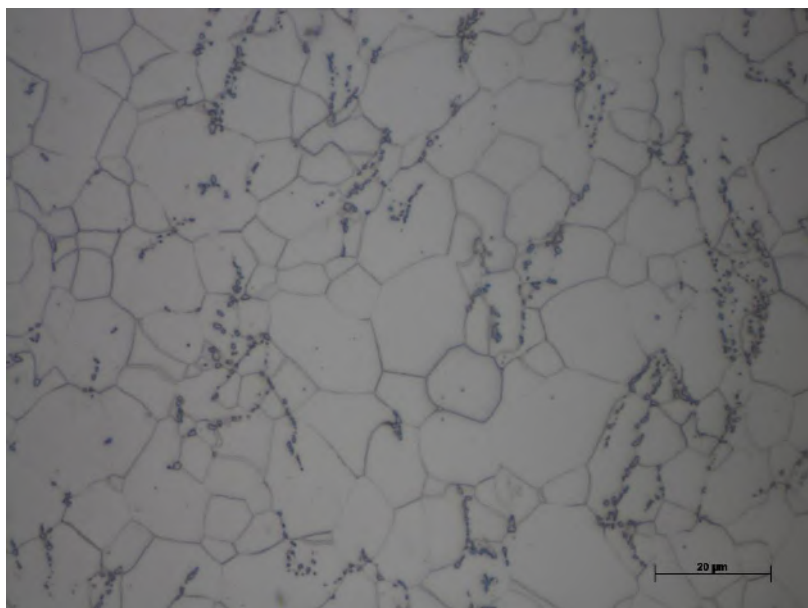
Apesar da não revelação de todos os contornos de grão da amostra veículo AC\_1, percebe-se grande heterogeneidade na microestrutura.

Na amostra veículo BC\_1 ( Figura 37 e Figura 38), a revelação dos grãos foi mais uniforme, em comparação com a amostra veículo AC\_1. Contudo, como ilustrada na Figura 38, alguns contornos apresentam baixo contraste e outros não foram totalmente revelados. Este fato é de comum ocorrência na revelação microestrutural de aços ferríticos.

Em adição, nas micrografias da amostra veículo BC\_1, a microestrutura aparenta ser composta por grãos de diferentes tamanhos e com finos precipitados distribuídos pela matriz.



**Figura 37.** Micrografia longitudinal da amostra veículo BC\_1. Aumento: 200x.

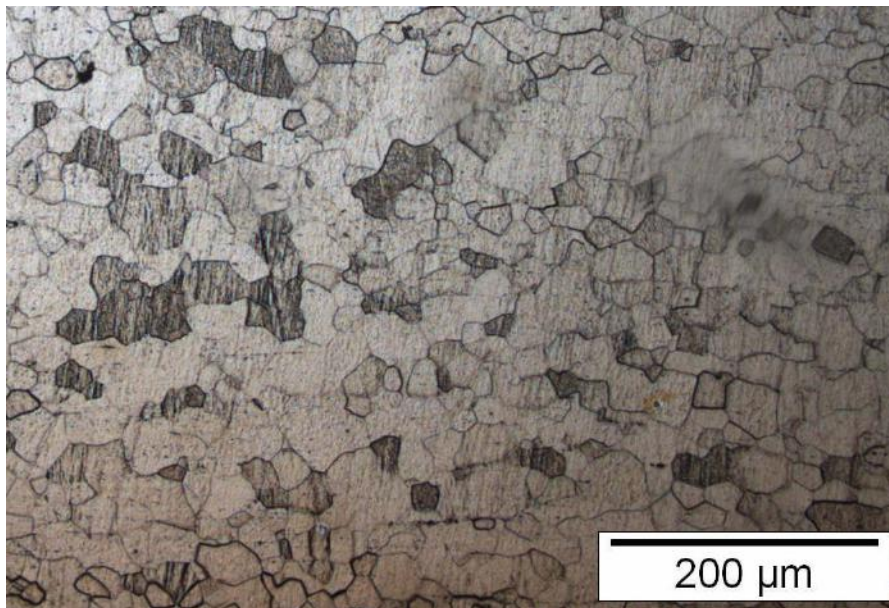


**Figura 38.** Micrografia longitudinal da amostra veículo BC\_1. Aumento: 1000x.

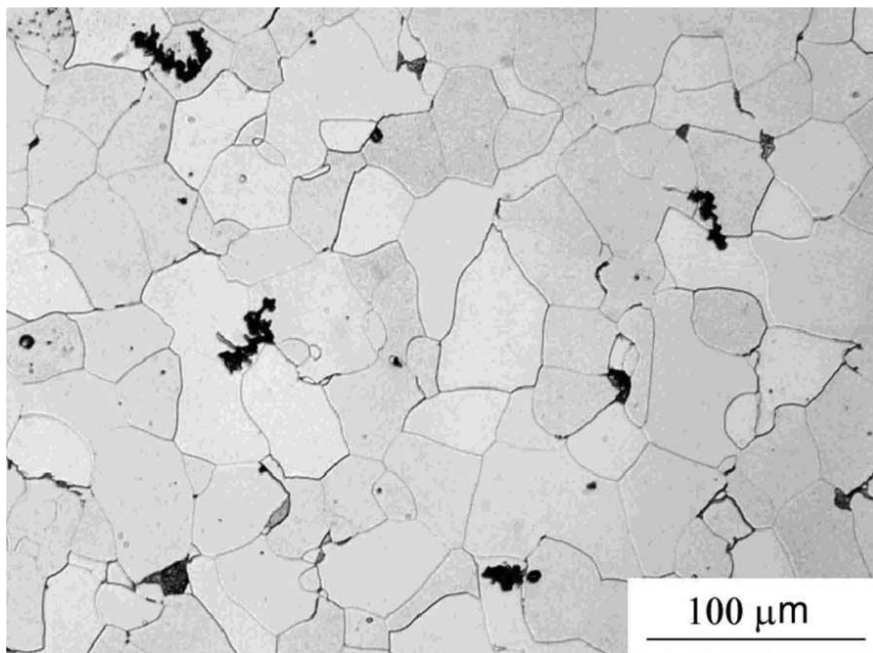
Com base na literatura, a microestrutura encontrada na amostra veículo AC\_1 assemelha-se as observadas em aços *Interstitial Free* (IF) (Figura 39). Em adição, na micrografia obtida na amostra veículo BC\_1, nota-se que a microestrutura obtida corresponde a observada em aços 1005 (Figura 40). Para maiores conclusões, foi



realizado um ensaio de microdureza vickers para complementar a caracterização do aço (vide item 4.1.4).



**Figura 39.** Micrografia Óptica do aço Aço IF M3A33 após recozimento. Ataque: nital 2% e picral 2%. (FIETO, 2013)



**Figura 40.** Micrografia óptica do Aço AISI 1005. Ataque: nital 2%. (ZHANG *et al.*, 2002)

#### 4.1.4. Microdureza Vickers

No ensaio de microdureza, inicialmente foram analisadas as amostras longitudinais: veículo AC\_1 e veículo BC\_1. Nestas foram realizadas 5 indentações e, em seguida,

foram calculados a média aritmética e desvio padrão dos valores obtidos (Tabela 7 e Tabela 8).

**Tabela 7.** Microdureza *vickers* longitudinal (zona não deformada) da amostra veículo AC\_1.

Microdureza <i>Vickers</i> (HV)	
I.1	51,7
I.2	70,2
I.3	67,8
I.4	52,7
I.5	53,6
<b>Média Aritmética</b>	59,2
<b>Desvio Padrão</b>	9,01

**Tabela 8.** Microdureza *vickers* longitudinal (zona não deformada) da amostra veículo BC\_1.

Microdureza <i>Vickers</i> (HV)	
I.1	62
I.2	63,5
I.3	84,4
I.4	62,9
I.5	58,9
<b>Média Aritmética</b>	66,34
<b>Desvio Padrão</b>	10,2

Assim, a amostra veículo AC\_1 apresentou uma microdureza *vickers* média de  $59,2 \pm 9,01$  HV enquanto que a amostra veículo BC\_1 apresentou uma microdureza *Vickers* média de  $66,34 \pm 10,2$  HV. Tais valores correspondem a microdureza *vickers* característica de aços de matriz ferrítica. Em adição, o elevado desvio padrão encontrado em ambos os cálculos reflete a influência da microestrutura heterogênea na propriedade mecânica de microdureza dos materiais.

Assim, segundo os resultados, a microdureza média encontrada nas amostras veículo AC\_1 e veículo BC\_1 correspondem aos valores característicos dos aços *Interstitial Free* (IF) e 1005, respectivamente. (MORAES & CARVALHO, 2016)

Adicionalmente, após a obtenção da microdureza das regiões não deformadas de cada material, realizou-se um perfil de microdureza nas amostras transversais:

- i. veículo AC\_3: marcada por estampagem, com profundidade de cavidade de 260,64  $\mu\text{m}$ .
- ii. veículo BC\_3: marcada por estampagem, com profundidade de cavidade de 288,3  $\mu\text{m}$ .
- iii. veículo BC\_4: marcada por gravação, com profundidade de cavidade de 236,16  $\mu\text{m}$ .

Esse procedimento foi realizado para aferir a profundidade da zona de deformação plástica, provocada por cada tipo de impressão.

A medição foi realizada com base na variação de microdureza provocada pela deformação plástica na região (vide item 2.3.2), com base na microdureza média obtida, anteriormente, para cada material.

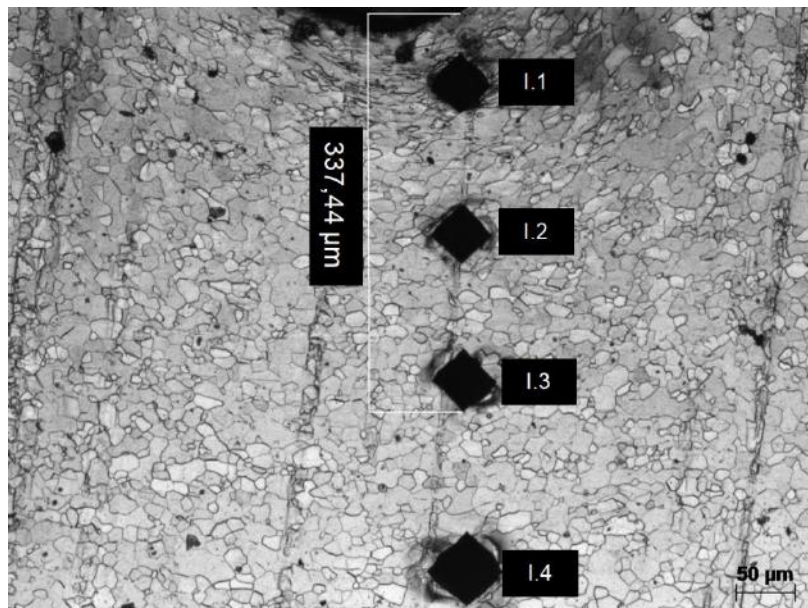
Assim, para a amostra veículo AC\_3, foram realizadas 4 indentações ao longo de sua espessura, como ilustrado na Figura 41, cujos respectivos valores de microdureza estão apresentados na Tabela 9. Com base na microdureza média da amostra veículo AC\_1 ( $59,2 \pm 9,01$  HV), tem-se que a zona de deformação plástica se estendeu até a profundidade delimitada pela terceira indentação (I.3). Isto é explicado pela elevação da microdureza, encontrada pelas indentações I.1, I.2 e I.3, reflexo da variação de propriedades mecânicas causada pela deformação plástica na região.



Portanto, observa-se que a zona de tensões residuais provocada por estampagem com uma cavidade de 260,64  $\mu\text{m}$  de profundidade, no aço IF do veículo\_A, possui uma profundidade de aproximadamente 337,4  $\mu\text{m}$ .

**Tabela 9.** Microdureza *vickers* transversal (zona deformada) da amostra veículo AC\_3.

Microdureza <i>Vickers</i> (HV)	
I.1	93,3
I.2	89,7
I.3	80,1
I.4	58,9
<b>Profundidade (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>337,44</b>



**Figura 41.** Medição da profundidade da zona de deformação veículo AC\_3.

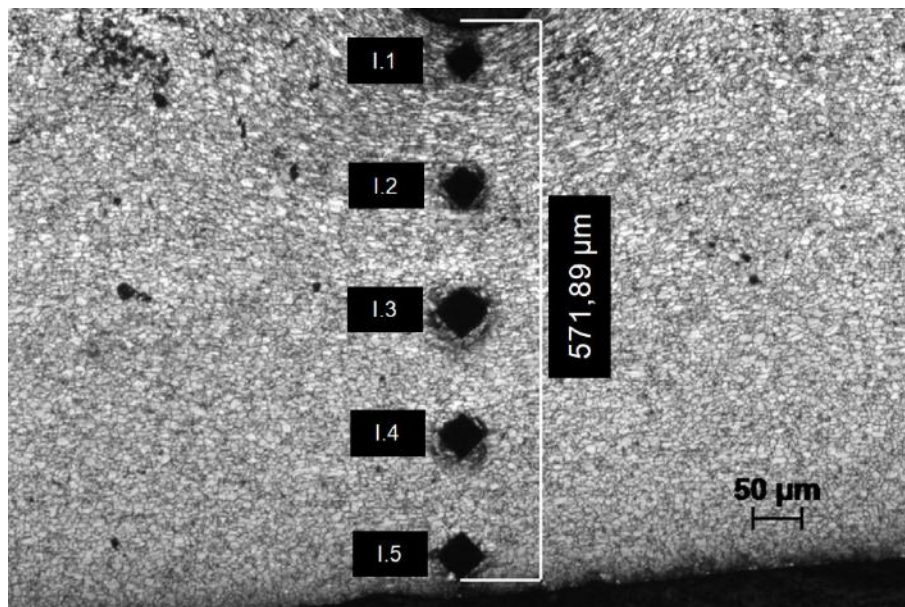
Na amostra veículo BC\_3, foram realizadas 5 indentações ao longo de sua espessura, como ilustrado na Figura 42, cujos respectivos valores de microdureza estão apresentados na Tabela 10. Levando em consideração a microdureza média da amostra veículo BC\_1 ( $66,34 \pm 10,2$  HV), tem-se que a zona de deformação plástica se estendeu até a profundidade delimitada pela quinta indentação (I.5), percorrendo toda a espessura do material. Isto é explicado pela elevação da microdureza, encontrada por

todas as indentações I.1 a I.5, reflexo da variação de propriedades mecânicas causada pela deformação plástica na região.

Desta forma, nota-se que a zona de tensões residuais provocada por estampagem com uma cavidade de 288,3  $\mu\text{m}$  de profundidade, em um aço de baixo carbono (1005) do veículo\_B, possui uma profundidade de aproximadamente 571,89  $\mu\text{m}$ .

**Tabela 10.** Microdureza *vickers* transversal (zona deformada) da amostra veículo BC\_3.

Microdureza <i>Vickers</i> (HV)	
I.1	140,7
I.2	112,5
I.3	80
I.4	104
I.5	91,5
<b>Profundidade (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>571,89</b>



**Figura 42.** Medição da profundidade da zona de deformação da amostra veículo BC\_3.

Ao analisar os resultados obtidos pelas amostras veículo AC\_3 e BC\_3, observa-se que, para a mesma técnica de impressão e profundidade de cavidade semelhantes, a amostra veículo BC\_3 apresentou maior profundidade de zona de deformação plástica

e sofreu maior influência da deformação plástica na variação de sua microdureza, em comparação com a amostra veículo AC\_3. Este fato mostra a diferença de propriedades mecânicas entre os materiais do veículo A e veículo B, provavelmente provocada por diferentes processamentos termomecânicos.

Na amostra veículo BC\_4, foram realizadas 4 indentações ao longo de sua espessura e os respectivos valores de microdureza obtidos estão apresentados na Tabela 11. Levando em consideração a microdureza média do material do veículo B ( $66,34 \pm 10,2$  HV), observa-se que não foi possível detectar a zona de deformação plástica ao longo da espessura da amostra. Como reportado na literatura, a alteração cristalográfica ocasionada pela gravação encontra-se poucos microns abaixo da cavidade (aproximadamente  $40 \mu\text{m}$ , para aços com 0,1% de C, e  $30 \mu\text{m}$ , para aços com 0,31% C) e muitas vezes essa alteração não é significativa ao ponto da zona de tensões residuais tornar-se detectável. (YIN & KUPPUSWAMY, 2009, AZLAN MOHD. ZAILI *et al.*, 2007a)

**Tabela 11.** Microdureza *vickers* transversal (zona deformada) da amostra veículo BC\_4.

Microdureza <i>Vickers</i> (HV)	
I.1	67,5
I.2	56,6
I.3	79,9
I.4	78,3
<b>Profundidade (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	-

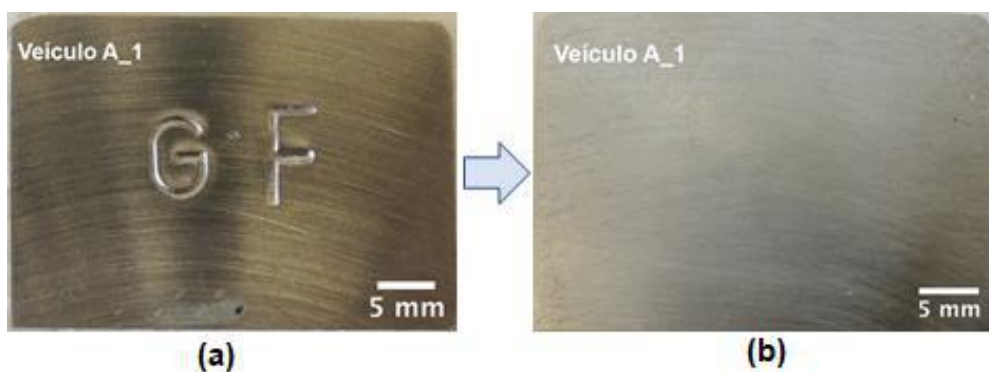
Contudo, a não detecção da zona deformada não significa a sua inexistência, necessitando a aplicação de outros métodos para tal. Deste modo, o método de medição de profundidade de zona de deformação plástica por perfil de microdureza *vickers* não se mostrou adequado para medição de profundidade de zona de deformação plástica em amostras marcadas por gravação.

## 4.2. Estudo da Restauração de Códigos Seriais

### 4.2.1. Amostra Veículo A\_1

Inicialmente, a amostra veículo A\_1 foi estampada com um código serial **GF** (Figura 43 (a)), o qual, por ter sido implementado por punção manual, foi impresso com diferentes profundidades de caractere, onde a letra **G** foi impressa com profundidade de 200  $\mu\text{m}$  e a letra **F** foi marcada com 234  $\mu\text{m}$  de profundidade.

Após a identificação, a amostra foi adulterada por remoção resultando na remoção total do código original, como ilustrado na Figura 43 (b).



**Figura 43.** Amostra Veículo A\_1: (a) Identificada com o código **GF**; (b) Adulteração por remoção, remoção total do código original.

Após a adulteração foi medida a perda de espessura ocasionada por essa, o que permitiu a definição da profundidade de restauração. Em outras palavras, com base na profundidade de cada caractere impresso e na perda de espessura gerada pela adulteração pode-se descobrir a profundidade da região de deformação plástica que será analisada pelas técnicas propostas. Através desses cálculos, nota-se que a região de deformação plástica, decorrente da impressão das letras “G” e “F”, está a, respectivamente, 140  $\mu\text{m}$  e 106  $\mu\text{m}$  abaixo da superfície desbastada.

As informações referentes a espessura inicial e final, perda de espessura e a profundidade abaixo da cavidade criada por cada caractere da amostra veículo A\_1 serão demonstradas na Tabela 12.

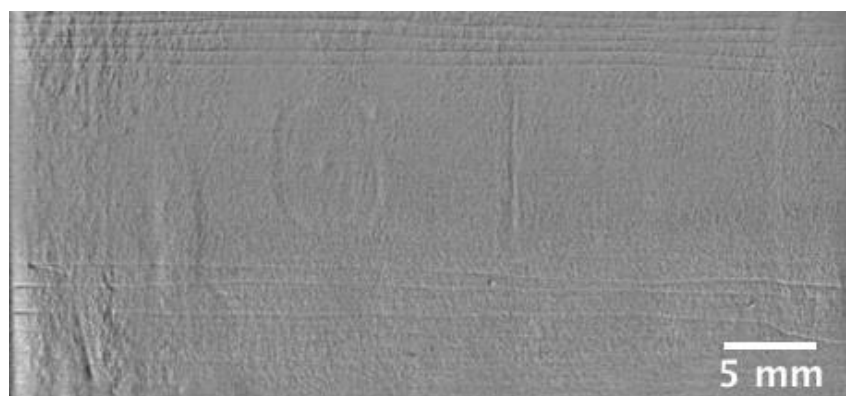
**Tabela 12.** Perda de espessura após a adulteração da amostra veículo A\_1.

Amostra	Espessura Inicial (mm)	Espessura Final (mm)	Perda de espessura ( $\mu\text{m}$ )	Profundidade Abaixo da Cavidade ( $\mu\text{m}$ )
Veículo A_1	1,45	1,11	340	<b>140 (G) 106 (F)</b>

Após a adulteração a amostra veículo A\_1 foi inspecionada pelas técnicas de CP/M/VMO, partículas magnéticas e ataque eletrolítico, cujos resultados obtidos serão discutidos a seguir.

### Revelação por CP/M/VMO

Com base na análise realizada na amostra veículo A\_1 (Figura 44), observa-se a revelação total do caractere “G” e parcial do caractere “F” em profundidades de zona de deformação plástica de 140 e 106  $\mu\text{m}$ , respectivamente.



**Figura 44.** Magnetograma da amostra veículo A\_1.

Apesar da profundidade de restauração de cada caractere se encontrar na seção intermediária da zona de deformação plástica (profundidade de 337,4  $\mu\text{m}$  abaixo da cavidade, vide item 4.1.3, a restauração da amostra veículo A\_1 apresentou baixa definição e contraste, o que pode influenciar na interpretação dos dados. Isto pode ter ocorrido devido às dimensões da chapa. Amostras de pequeno tamanho podem dificultar a varredura com o indutor, resultando na variação da aproximação amostra-indutor, a qual influencia na intensidade do campo magnético primário em contato com



a amostra e, conseqüentemente, na intensidade do campo secundário detectado pela fita (vide item 2.4.1).

Outra justificativa, seria pelo fato das regiões de deformação plástica, associadas a diferentes partes da marcação, se tornarem amplas e mais difusas com o aumento da profundidade, dificultando ou impossibilitando a restauração do código. A profundidade em que isso ocorre depende das propriedades microestruturais de cada material e do tamanho do caractere impresso. (M & TURLEY, 1987)

### **Revelação por Partículas Magnéticas (PM)**

Na revelação por PM, inicialmente, foi realizado o teste da aplicação por via seca na para avaliar o desempenho dessa na restauração.

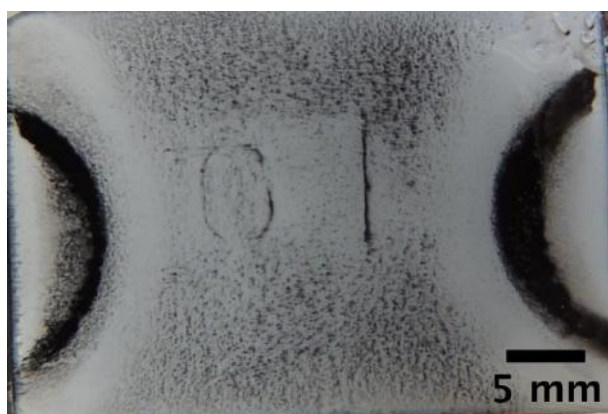


**Figura 45.** Revelação por PM por via seca.

Como apresentado na Figura 45, o método por via seca não foi capaz de revelar a marcação original da amostra, se mostrando inadequado para esse tipo de aplicação. Tal resultado corrobora com o encontrado por (UTRATA & JOHNSON, 2003) em sua pesquisa.

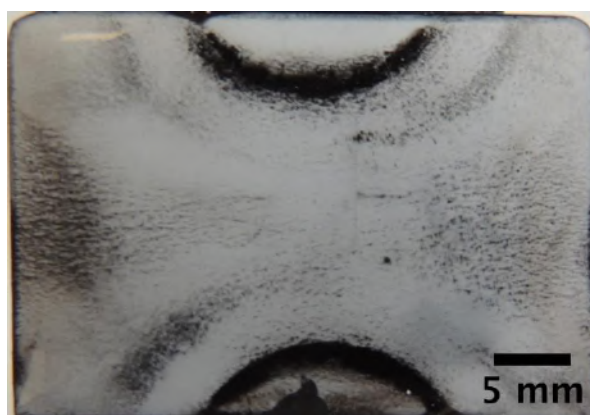
Atestando a não aplicabilidade da revelação por partículas magnéticas por via seca, a etapa subsequente se baseou no ensaio por via úmida, cujos resultados serão discutidos a seguir.

No ensaio por PM da amostra veículo A\_1, pode-se identificar e restaurar o código original “GF”. Inicialmente, com a disposição dos ímãs como ilustrado na Figura 46, as letras apresentaram um contraste satisfatório e uniforme entre ambas. Isto leva a crer que a variação de nitidez entre as letras “G” e “F”, no magnetograma resultante da revelação por CP/M/VMO, teve influências da variação de distância indutor-amostra no momento da varredura ou a técnica de revelação por partículas magnéticas apresenta maior limite de detecção em relação a CP/M/VMO.



**Figura 46.** Revelação por PM da amostra veículo A\_1.

Apesar de na literatura ser reportada a não influência do posicionamento dos ímãs na revelação dos códigos originais (UTRATA & JOHNSON, 2003), a variação da direção do campo magnético, neste caso, possibilitou um melhor contraste dos traços horizontais das letras “G” e “F” (Figura 47). A união dos resultados, ilustrados pelas Figuras 48 e 49, possibilitou a identificação total do código original.



**Figura 47.** Revelação por PM da amostra veículo A\_1 com inversão dos ímãs permanentes.

## Recuperação por Ataque Eletrolítico

Na revelação por ataque eletrolítico, inicialmente, o código original restaurado na amostra veículo A\_1 apresentou baixos contraste e nitidez o que dificultou a identificação e a aquisição dos resultados pela câmera fotográfica. Devido a rugosidade da superfície, o fundo da amostra e a zona de deformação plástica são atacadas pelo reagente em taxas semelhantes, o que contribuiu para o baixo contraste.

Visando à melhora da nitidez do código revelado, a amostra foi levada para uma sala fechada, ou seja, sem influência de luz externa, e sobre a superfície da amostra foi incidido luz em angulação específica. Esse procedimento permitiu a identificação total do código original **GF** e a aquisição de imagem do mesmo, como ilustrado na Figura 48.



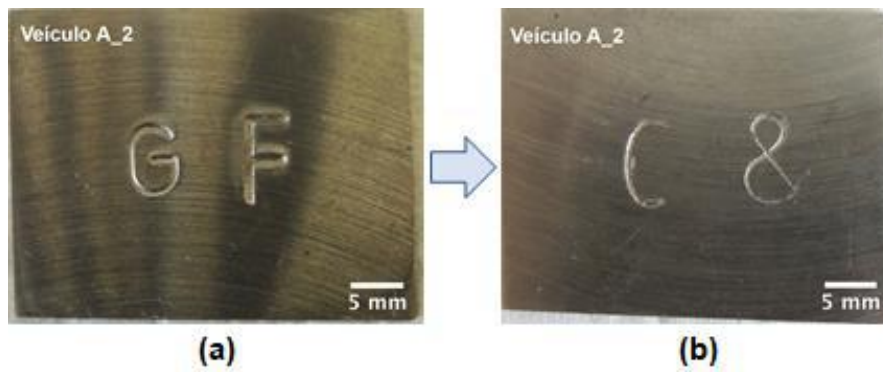
**Figura 48.** Revelação por ataque eletrolítico da amostra veículo A\_1.

### 4.2.2. Amostra Veículo A\_2

Assim como a amostra veículo\_A1, a amostra veículo A\_2 também foi estampada com o código serial **GF** (Figura 49 (a)), com diferentes profundidades de caractere, onde a letra **G** foi impressa com profundidade de 200  $\mu\text{m}$  e a letra **F** foi marcada com 312  $\mu\text{m}$  de profundidade.

Após a identificação, a amostra foi adulterada por remarcação com a remoção total do código original seguido da estampagem do novo código **C&**, como ilustrado na Figura 49 (b).





**Figura 49.** Amostra Veículo A\_2: (a) Identificada com o código **GF**; (b) Adulteração por regravação, remoção total do código original seguido da estampagem do novo código **C&**.

Após a adulteração, foi realizado o mesmo procedimento aplicado na amostra veículo A\_1 para definição da profundidade de restauração, através da qual pode-se observar que a região de deformação plástica, decorrente da impressão das letras “G” e “F”, está a, respectivamente, 130  $\mu\text{m}$  e 18  $\mu\text{m}$  abaixo da superfície desbastada.

As informações referentes a espessura inicial e final, perda de espessura e a profundidade abaixo da cavidade criada por cada caractere da amostra veículo A\_2 serão demonstradas na Tabela 13.

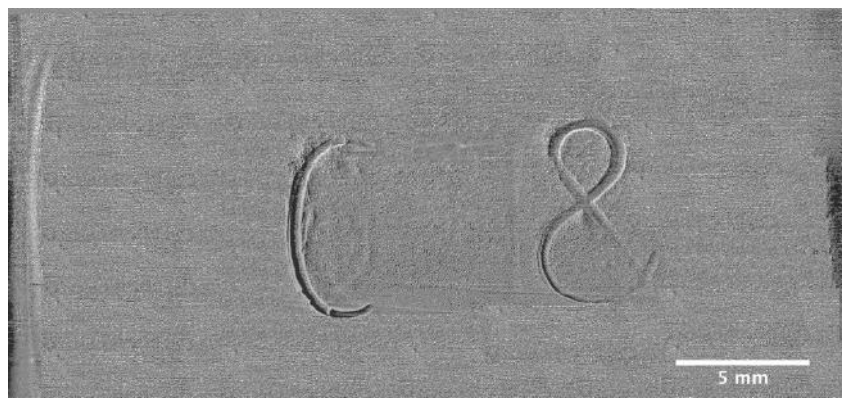
**Tabela 13.** Perda de espessura após a adulteração da amostra veículo A\_2.

Amostra	Espessura Inicial (mm)	Espessura Final (mm)	Perda de espessura ( $\mu\text{m}$ )	Profundidade Abaixo da Cavidade ( $\mu\text{m}$ )
<b>Veículo A_2</b>	1,45	1,12	330	<b>130 (G) e 18 (F)</b>

Após a adulteração a amostra veículo A\_2 foi inspecionada pelas técnicas de CP/M/VMO, partículas magnéticas e ataque eletrolítico, cujos resultados obtidos serão discutidos a seguir.

### **Revelação por CP/M/VMO**

Nesta análise, foi possível detectar a adulteração presente na amostra veículo A\_2, entretanto a revelação do código original, não pode ser realizada claramente.



**Figura 50.** Magnetograma da amostra veículo A\_2.

Como ilustrado na Figura 50, o primeiro caractere “G”, apesar do bom contraste e definição, pode ser confundido com o número “6 por causa da sobreposição do novo código “C” e o caractere “F” apresenta baixa nitidez e contraste, impossibilitando sua identificação.

Segundo (POLK & GIESSEN, 1989), a restauração de códigos seriais com este tipo de adulteração se torna impossível, por causa da sobreposição das zonas de deformação plásticas causadas pelas duas marcações. Contudo, (KUPPUSWAMY, 2010), relata que nas amostras, cujas marcações novas, acidentalmente se deslocaram com relação as iniciais, a restauração dos códigos originais foi parcial ou total, dependendo do grau de deslocamento.

No caso da amostra veículo A\_2, a letra “F” apresentou um maior deslocamento em relação ao código “&”, em comparação com a letra “G” e a nova letra “C”. Além disso, essa foi revelada a uma profundidade de 18  $\mu\text{m}$  abaixo da cavidade, enquanto o caractere “G” a 130  $\mu\text{m}$ . Por conseguinte, pelos motivos levantados por Kuppuswamy e Turley, a letra “F” deveria ter apresentado melhor contraste e definição do que a letra “G”. Assim, tal fato leva a crer que a baixa definição do símbolo “F” pode estar associada a variação da distância entre o indutor e a superfície da amostra durante a varredura.

## Revelação por Partículas Magnéticas (PM)

Na revelação por PM, foi possível identificar a adulteração da amostra, porém os códigos originais também não foram restaurados com clareza. Além da sobreposição entre zonas de deformações plásticas ocasionada pela remarcação, o tamanho da amostra também pode ter influenciado no resultado.

As pequenas dimensões dificultaram o posicionamento dos imãs na configuração ilustrada na Figura 51. A proximidade dos imãs permanentes interferiu na dispersão das partículas magnéticas, pois a maioria destas eram rapidamente atraídas por eles, culminando em um pequeno acúmulo de partículas na região deformada gerando uma revelação de baixo contraste. Outrossim, na amostra veículo A\_2 a inversão dos imãs não mostrou influenciar no contraste dos traços horizontais como na amostra veículo AC\_1 (Figura 47), isto pode ter sido causado pela sobreposição das zonas de deformação plástica, o que influencia na definição dos caracteres restaurados.

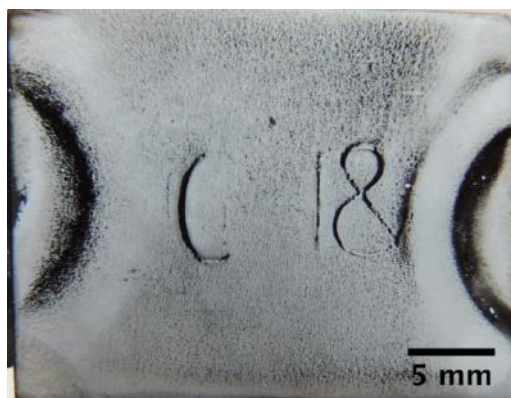


Figura 51. Revelação por PM da amostra veículo A\_2.

## Restauração por Ataque Eletrolítico

A restauração por ataque eletrolítico da amostra veículo A\_2 apresentou resultados semelhantes a amostra veículo A\_1, na qual o código revelado apresentou baixa nitidez e contraste devido à rugosidade da superfície, necessitando assim, da implementação de um procedimento subsequente (descrito no item 4.2.1) para realçar o código e adquirir a imagem do resultado.

Deste modo, este procedimento permitiu a visualização do resultado da restauração por ataque eletrolítico da amostra veículo A\_2, demonstrado na Figura 52. Nesta pode-se observar que o código original foi parcialmente restaurado. O caractere “G” não pode ser visualizado claramente, impossibilitando sua identificação, provavelmente devido à sobreposição das zonas de deformação plástica atrelada a rugosidade da superfície, (culminando no baixo contraste entre o código restaurado e a superfície da amostra). Já a letra “F” apresenta um maior contraste e definição, podendo ser identificado claramente.

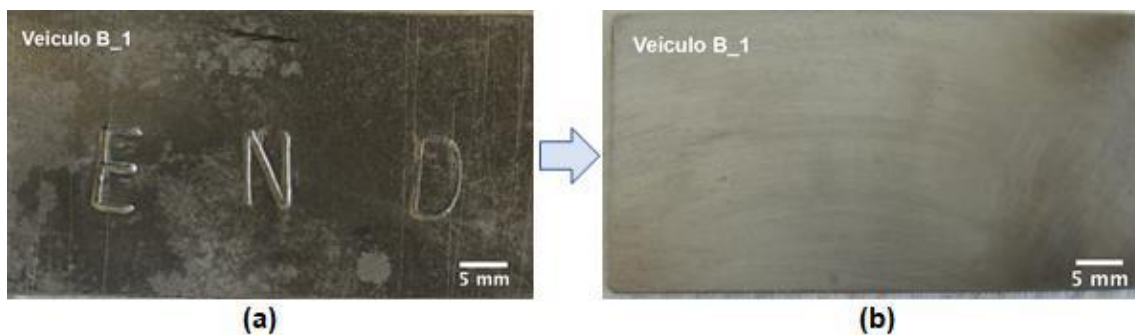


**Figura 52.** Revelação por ataque eletrolítico da amostra veículo A\_2.

#### 4.2.3. Amostra Veículo B\_1

Inicialmente, a amostra veículo B\_1 foi estampada com um código serial **END** (Figura 53 (a)), o qual, assim como as amostras veículo A\_i, foi impresso com diferentes profundidades de caractere, pois a marcação foi realizada manualmente. Em vista disso, as letras **E**, **N** e **D** foram impressas com profundidades de 270  $\mu\text{m}$ , 200  $\mu\text{m}$  e 245  $\mu\text{m}$ , respectivamente.

Após a identificação, a amostra foi adulterada por remoção resultando na remoção total do código original, como ilustrado na Figura 53 (b).



**Figura 53.** Amostra Veículo B\_1: (a) Identificada com o código **END**; (b) Adulteração por remoção, remoção total do código original.

Após a adulteração foi medida a perda de espessura ocasionada por essa, o que permitiu a definição da profundidade de restauração. Através desses cálculos, observa-se que a região de tensões residuais decorrente da impressão das letras “E”, “N” e “D”, está a, respectivamente, 20  $\mu\text{m}$ , 90  $\mu\text{m}$  e 45  $\mu\text{m}$  abaixo da superfície desbastada.

As informações referentes a espessura inicial e final, perda de espessura e a profundidade abaixo da cavidade criada por cada caractere da amostra veículo B\_1 serão demonstradas na Tabela 14.

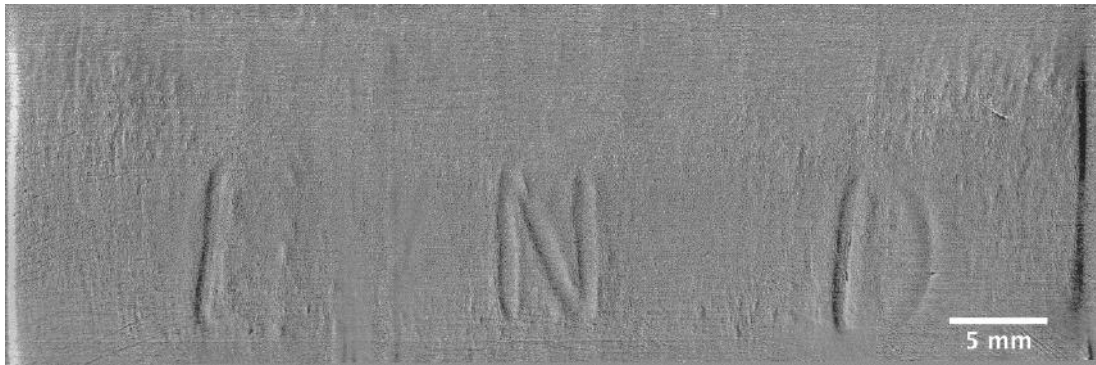
**Tabela 14.** Perda de espessura após a adulteração da amostra veículo B\_1.

Amostra	Espessura Inicial (mm)	Espessura Final (mm)	Perda de espessura ( $\mu\text{m}$ )	Profundidade Abaixo da Cavidade ( $\mu\text{m}$ )
<b>Veículo B_1</b>	1,51	1,22	290	<b>20 (E) 90 (N) 45 (D)</b>

Após a adulteração a amostra veículo B\_1 foi inspecionada pelas técnicas de CP/M/VMO, partículas magnéticas e ataque eletrolítico, cujos resultados obtidos serão discutidos a seguir.

### **Revelação por CP/M/VMO**

Segundo o magnetograma obtido na análise da amostra veículo B\_1, apresentado na Figura 54, pode-se afirmar que o código **END** foi parcialmente recuperado.



**Figura 54.** Magnetograma da amostra veículo B\_1.

A variação de contraste observados entre os traços horizontais e o traço vertical da letra “E” e entre a curvatura e o traço vertical da letra “D” pode ter sido causada pela distribuição não-uniforme de pressão no momento da estampagem, uma vez que o procedimento foi efetuado manualmente. Baseado nisto, o teste de sensibilidade (vide item 4.3) foi efetuado considerando apenas o caractere central “N”, que apresentou maior uniformidade de traços no momento da marcação.

### **Revelação por Partículas Magnéticas (PM)**

Na inspeção por PM, o código original **END** foi totalmente recuperado com elevada nitidez e contraste, assim como no resultado da revelação por CP/M/VMO (Figura 55).



**Figura 55.** Revelação por PM da amostra veículo B\_1.

A variação de contraste entre a letra “E” e as letras “ND” pode ter sido ou resultado da distância entre o caractere “E” da borda esquerda da amostra, ou seja, a letra ficou muito próxima ao ímã permanente, ou devido à distribuição não-uniforme de pressão no



momento da estampagem. Contudo, mesmo com menor contraste, o caractere foi claramente identificado.

É importante ressaltar, que considerando a configuração do ensaio de partículas magnéticas e tendo em conta o tamanho da amostra e dos ímãs permanentes, o teste de limite de detecção foi realizado tomando como referência o caractere central “N” (vide item 4.3).

## Recuperação por Ataque Eletrolítico

A restauração por ataque eletrolítico da amostra veículo B\_1 o código revelado apresentou baixíssimo contraste devido à elevada rugosidade da superfície, necessitando assim, da implementação de um procedimento subsequente (descrito no item 4.2.1) para realçar o código e aquisitar a imagem do resultado.

Contudo, mesmo com a aplicação do procedimento empregado nas amostras veículo A\_1 e veículo A\_2, a visualização do código restaurado pelo ataque eletrolítico da amostra veículo B\_1 permaneceu sendo dificultada pela rugosidade superficial (Figura 56). Este fato confirmou a elevada influência da preparação superficial na recuperação de códigos seriais por ataque eletrolítico.



**Figura 56.** Revelação por ataque eletrolítico da amostra veículo B\_1.

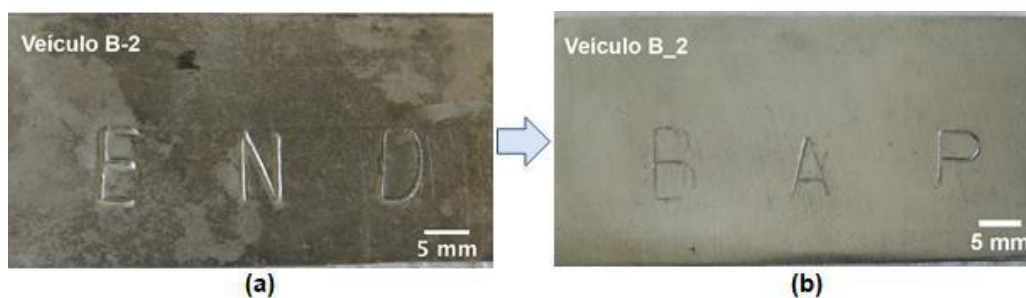
Em vista disso, com base na Figura 56, pode-se afirmar que o caractere “E”, devido ao baixo contraste, teve sua identificação impossibilitada e as letras “ND”, apesar da baixa

definição, puderam ser visualizadas de forma mais clara do que a letra anterior. Assim, nota-se que o código original **END** da amostra veículo B\_1 foi parcialmente restaurado.

#### 4.2.4. Amostra Veículo B\_2

A amostra veículo B\_2, assim como a amostra veículo B\_1 foi estampada com um código serial **END** (Figura 57 (a)), o qual foi impresso com diferentes profundidades de caractere, onde as letras **E**, **N** e **D** foram impressas com profundidades de 293  $\mu\text{m}$ , 201  $\mu\text{m}$  e 200  $\mu\text{m}$ , respectivamente.

Após a identificação, o código original foi totalmente removido seguido da estampagem do novo código **BAP**, como ilustrado na Figura 57 (b).



**Figura 57.** Amostra Veículo B\_2: (a) Identificada com o código **END**; (b) Adulteração por remarcação, remoção total do código original seguido da estampagem do código **BAP**

Após a adulteração foi medida a perda de espessura ocasionada por essa, o que permitiu a definição da profundidade de restauração, como demonstrado na Tabela 15. Através desses cálculos, observa-se que a região de deformação plástica decorrente da impressão das letras “E”, “N” e “D”, está a, respectivamente, 17  $\mu\text{m}$ , 109  $\mu\text{m}$  e 110  $\mu\text{m}$  abaixo da superfície desbastada.

As informações referentes a espessura inicial e final, perda de espessura e a profundidade abaixo da cavidade criada por cada caractere da amostra veículo B\_2 serão demonstradas na Tabela 15.



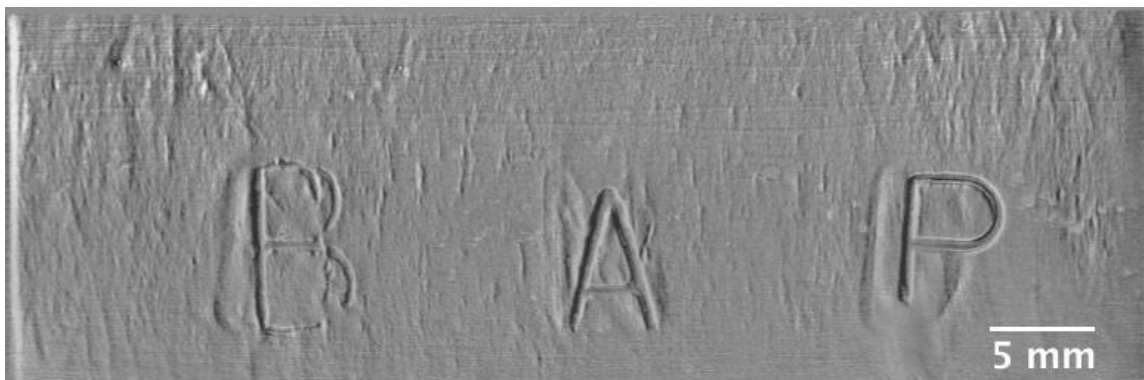
**Tabela 15.** Perda de espessura após a adulteração da amostra B\_2

Amostra	Espessura Inicial (mm)	Espessura Final (mm)	Perda de espessura ( $\mu\text{m}$ )	Profundidade Abaixo da Cavidade do Caractere ( $\mu\text{m}$ )
Veículo B_2	1,54	1,23	310	17 (E) 109 (N) 110 (D)

Após a adulteração a amostra veículo B\_2 foi inspecionada pelas técnicas de CP/M/VMO, partículas magnéticas e ataque eletrolítico, cujos resultados obtidos serão discutidos a seguir.

### Revelação por CP/M/VMO

Com base no magnetograma obtido na análise da amostra veículo B\_2 (Figura 58), observa-se que a sobreposição dos caracteres, assim como na amostra veículo A\_2, influenciou na identificação do código original.



**Figura 58.** Magnetograma da amostra veículo B\_2.

Apesar dos caracteres restaurados apresentarem bom contraste e nitidez, a letra “E” sofreu um deslocamento muito pequeno com relação aos novos códigos, e, conseqüente, a sobreposição das zonas de deformações plásticas influenciou negativamente na revelação. Além disso, os traços horizontais do caractere “E” coincidem com os traços horizontais da letra “B”, o que contribuiu para a não identificação do caractere original. O caractere “N”, assim como a letra “E”, sofreu a conseqüência da sobreposição das zonas de tensões residuais, contudo, essa se

apresentou de forma mais clara, em comparação com o primeiro caractere. Já a letra “D”, mesmo com a sobreposição, se apresentou de forma clara, sendo nitidamente identificável.

Desta forma, pode-se observar que o código original da amostra veículo B\_2 foi parcialmente restaurado pela técnica de CP/M/VMO.

### **Revelação por Partículas Magnéticas (PM)**

O resultado obtido na revelação por PM amostra veículo B\_2 foi semelhante aos adquiridos pela técnica de CP/M/VMO.



**Figura 59.** Revelação por PM da amostra veículo B\_2.

Como ilustrada na Figura 59, o caractere “E” apresenta um contraste muito baixo ocasionado provavelmente pela curta distância entre o código e o ímã (como na amostra veículo B\_1) atrelada a sobreposição das zonas de deformação plástica e pequeno deslocamento entre o código original e o novo. A letra “N” apresenta um contraste intermediário, sendo parcialmente identificada, também resultado da sobreposição e pequeno deslocamento, enquanto a letra “D” foi totalmente restaurada.

Deste modo, o código original da amostra veículo B\_2 foi parcialmente restaurado pela técnica de partículas magnéticas.

## Recuperação por Ataque Eletrolítico

Assim como nas amostras anteriores, na restauração por ataque eletrolítico da amostra veículo B\_2 o código revelado apresentou baixo contraste devido à rugosidade da superfície, necessitando assim, da implementação de um procedimento subsequente (descrito no item 4.2.1) para realçar o código e aquiritar a imagem do resultado. Após a implementação desse foi possível identificar o código original revelado.



**Figura 60.** Revelação por ataque eletrolítico da amostra veículo B\_2.

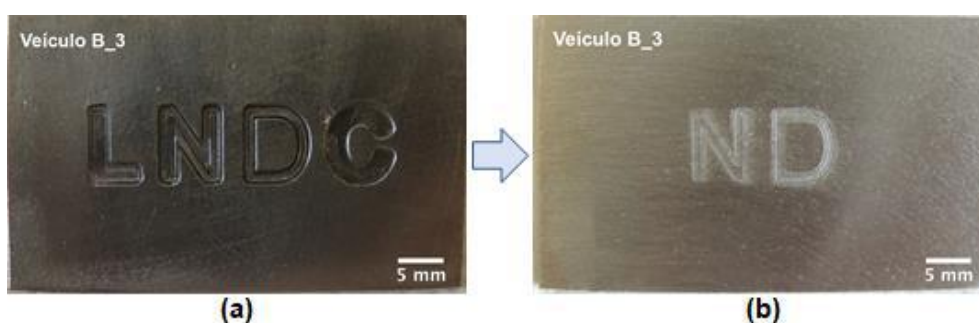
Apesar da sobreposição entre as zonas de tensões residuais, o ataque eletrolítico foi capaz de recuperar as letras “N” e “D” claramente, enquanto a letra “E” foi parcialmente restaurada devido à sobreposição, como ilustrado na Figura 60.

Deste modo, o código original da amostra veículo B\_2 foi parcialmente restaurado pela técnica de ataque eletrolítico.

### 4.2.5. Amostra Veículo B\_3

Inicialmente a amostra veículo B\_3 foi identificada por gravação com um código serial **LNDC** (Figura 61 (a)). Devido à não planicidade da amostra, as marcações impostas pela fresadora não foram uniformes. Em outras palavras, os caracteres foram gravados com diferentes profundidades, onde as letras **L**, **N**, **D** e **C** foram impressas com profundidades de 450  $\mu\text{m}$ , 465  $\mu\text{m}$ , 486  $\mu\text{m}$  e 320  $\mu\text{m}$ , respectivamente.

Após a identificação, a amostra foi adulterada por remoção, com remoção apenas do caractere “L” e “C”, como ilustrado na Figura 61 (b).



**Figura 61.** Amostra Veículo B\_3: (a) Identificada com o código **LNDC**; (b) Adulteração por remoção, com remoção total do código original.

Após a adulteração foi medida a perda de espessura ocasionada por essa, o que permitiu a definição da profundidade de restauração, como demonstrado na Tabela 16. Através desses cálculos, observa-se que a região de deformação plástica decorrente da impressão das letras “L” e “C”, está a, respectivamente, 10  $\mu\text{m}$  e 140  $\mu\text{m}$  abaixo da superfície desbastada.

As informações referentes a espessura inicial e final, perda de espessura e a profundidade abaixo da cavidade criada por cada caractere da amostra veículo B\_3 serão demonstradas na Tabela 16.

**Tabela 16.** Perda de espessura após a adulteração da amostra B\_3.

Amostra	Espessura Inicial (mm)	Espessura Final (mm)	Perda de espessura ( $\mu\text{m}$ )	Profundidade Abaixo da Cavidade ( $\mu\text{m}$ )
<b>Veículo B_3</b>	1,51	1,05	460	<b>10 (L) e 140 (C)</b>

Após a adulteração a amostra veículo B\_3 foi inspecionada pelas técnicas de CP/M/VMO, partículas magnéticas e ataque eletrolítico, cujos resultados obtidos serão discutidos a seguir.

## Revelação por CP/M/VMO

Segundo o magnetograma obtido na análise da amostra veículo B\_3 (Figura 62), os códigos originais “L” e “C” não foram revelados.

Levando em consideração que, na amostra veículo B\_3, a análise foi realizada a profundidades de 10  $\mu\text{m}$  (letra “L”) e 140  $\mu\text{m}$  (letra “C”) abaixo da cavidade, a não detecção pode ser explicada pela zona de tensões residuais ser menor do que 10  $\mu\text{m}$  ou, como relatado por (F. CUNLIFFE, 1980), em alguns casos, a alteração cristalográfica, ocasionada pela marcação, não é significativa o suficiente para permitir a detecção da zona de deformação plástica.

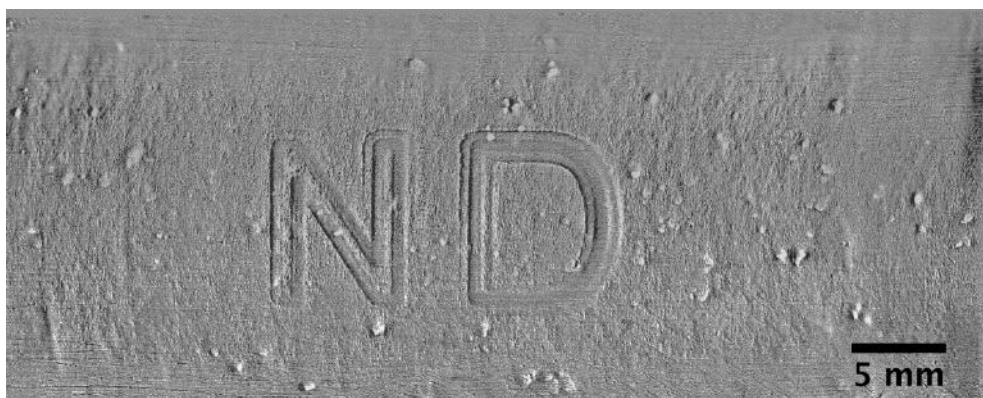


Figura 62. Magnetograma da amostra veículo B\_3.

## Revelação por Partículas Magnéticas (PM)

Na restauração por PM da amostra veículo B\_3, foram obtidos os mesmos resultados encontrados pela técnica de CP/M/VMO, nos quais não foi possível revelar os códigos originais (Figura 63).



**Figura 63.** Revelação por PM da amostra veículo B\_3.

Além das considerações levantadas na discussão dos resultados por CP/M/VMO, a configuração do ensaio de partículas magnéticas pode ter influenciado negativamente nos resultados. Deste modo, se faz necessária a realização de testes em amostras gravadas com maiores dimensões, respeitando a remoção de material a uma profundidade inferior a 10  $\mu\text{m}$ , para maiores conclusões.

### **Recuperação por Ataque Eletrolítico**

Na revelação por ataque eletrolítico, assim como nas revelações por CP/M/VMO e PM, não foi possível a restauração dos códigos iniciais da amostra veículo B\_3 (Figura 64).



**Figura 64.** Revelação por ataque eletrolítico da amostra veículo B\_3.



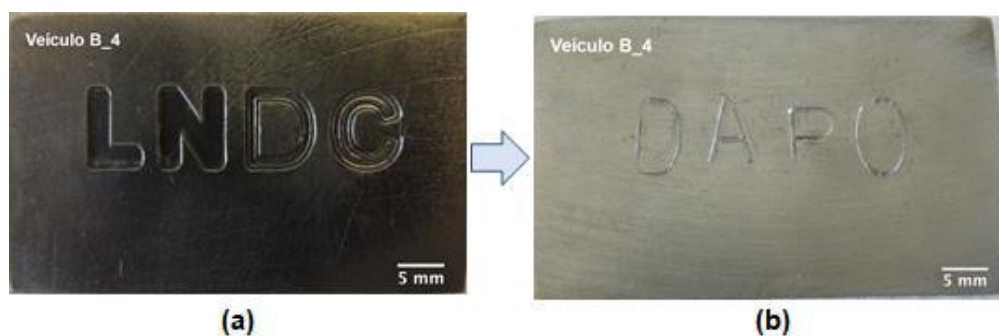
A não recuperação das letras “L” e “C” pode ter sido influenciada pela preparação superficial, além dos motivos apresentados na discussão dos resultados na revelação da mesma por CP/M/VMO e PM.

Adicionalmente, marcações por gravação, reveladas por ataque químico, segundo os dados obtidos por (AZLAN MOHD. ZAILI *et al.*, 2007b, YIN & KUPPUSWAMY, 2009), resultam em restaurações de baixo contraste e nitidez. Deste modo, superfícies rugosas podem ser atacadas preferencialmente ou a uma taxa maior do que a região deformada, impossibilitando a percepção do código restaurado.

#### 4.2.6. Amostra Veículo B\_4

Assim como a amostra veículo B\_3, a amostra veículo B\_4 foi identificada por gravação com um código serial **LNDC** (Figura 65 (a)), com diferentes profundidades de caractere. Em vista disso, as letras **L**, **N**, **D** e **C** foram impressas com profundidades de 352  $\mu\text{m}$ , 340  $\mu\text{m}$ , 319  $\mu\text{m}$  e 330  $\mu\text{m}$ , respectivamente.

Após a identificação, a amostra foi adulterada por remarcação, com remoção total do código original seguida da estampagem do novo código **DAPO**, como ilustrado na Figura 65(b).



**Figura 65.** Amostra Veículo B\_4: (a) Identificada com o código **LNDC**; (b) Adulteração por remarcação, com remoção total do código original seguida da estampagem do novo código.

Após a adulteração foi medida a perda de espessura ocasionada por essa, o que permitiu a definição da profundidade de restauração, como demonstrado na Tabela 17. Através desses cálculos, observa-se que a região de tensões residuais decorrente da

impressão das letras “L”, “N”, “D” e “C”, está a, respectivamente, 38  $\mu\text{m}$ , 50  $\mu\text{m}$ , 71  $\mu\text{m}$  e 60  $\mu\text{m}$  abaixo da superfície desbastada.

As informações referentes a espessura inicial e final, perda de espessura e a profundidade abaixo da cavidade criada por cada caractere da amostra veículo B\_4 serão demonstradas na Tabela 17.

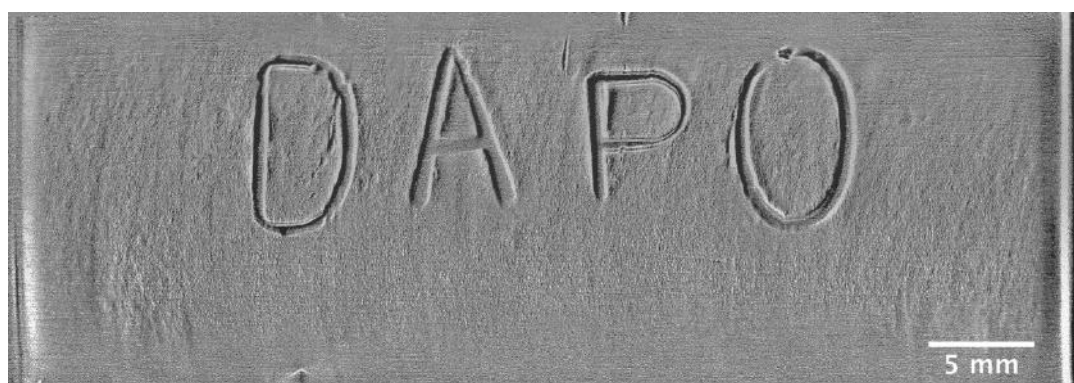
**Tabela 17.** Perda de espessura após a adulteração da amostra B\_4.

<b>Amostra</b>	<b>Espessura Inicial (mm)</b>	<b>Espessura Final (mm)</b>	<b>Perda de espessura (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>Profundidade Abaixo da Cavidade (<math>\mu\text{m}</math>)</b>
<b>Veículo B_4</b>	1,47	1,08	390	<b>38 (L) 50 (N) 71 (D) 60 (C)</b>

Após a adulteração a amostra veículo B\_4 foi inspecionada pelas técnicas de CP/M/VMO, partículas magnéticas e ataque eletrolítico, cujos resultados obtidos serão discutidos a seguir.

### **Revelação por CP/M/VMO**

Assim como os resultados obtidos na análise por CP/M/VMO da amostra veículo B\_3, os códigos originais da amostra veículo B\_4 também não foram revelados, como demonstrado no magnetograma da Figura 66.



**Figura 66.** Magnetograma da amostra veículo B\_4.

Considerando que, na amostra veículo B\_4, a análise foi realizada a uma profundidade mínima de 38  $\mu\text{m}$ , a não detecção pode ser explicada pela zona de tensões residuais



ser menor do que 38  $\mu\text{m}$  ou, como mencionado anteriormente, a marcação não gerou uma alteração cristalográfica significativa para permitir a detecção da zona de deformação plástica. Em adição, essas ocorrências atreladas a remarcação por estampagem, cujo tamanho de zona de deformação plástica é muito superior a gerada pela gravação, pode ter contribuído para a não recuperação dos códigos originais da amostra veículo B\_4.

### **Revelação por Partículas Magnéticas (PM)**

Como no resultado obtido pela inspeção por PM da amostra veículo B\_3, os códigos originais da amostra veículo B\_4 não foram revelados (Figura 67).



**Figura 67.** Revelação por PM da amostra veículo B\_4.

Neste caso, a configuração do ensaio de partículas magnéticas também pode ter influenciado negativamente nos resultados. Assim, como para a amostra veículo B\_3, é necessário repetir os testes em amostras de maiores dimensões e respeitando a remoção da marcação a uma menor profundidade (inferior a 10  $\mu\text{m}$ ).

### **Recuperação por Ataque Eletrolítico**

Na revelação por ataque eletrolítico, assim como nos resultados obtidos na amostra veículo B\_3 e nas revelações por CP/M/VMO e PM, não foi possível restaurar os códigos originais da amostra veículo B\_4 (Figura 68).



Figura 68. Revelação por ataque eletrolítico da amostra veículo B\_3.

Assim como na amostra veículo B\_3, a não revelação dos códigos originais da amostra veículo B\_4 pode ter sido influenciada pela rugosidade da superfície. Este fato, atrelado a remarcação por estampagem, cujo tamanho de zona de deformação plástica é muito superior a gerada pela gravação, podem ter contribuído para a não restauração dos códigos originais por ataque eletrolítico da amostra veículo B\_4.

### 4.3. Teste de Limite de detecção

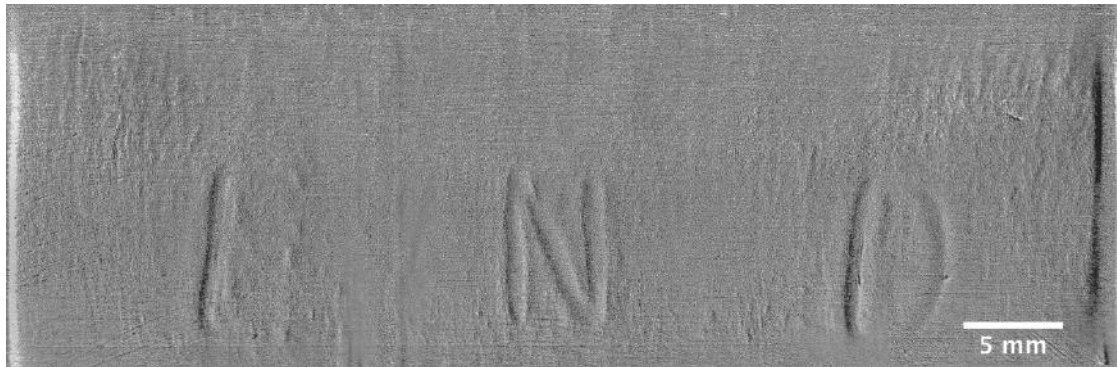
Como discutido anteriormente, o teste de sensibilidade será realizado na amostra veículo B\_1 tomando como referência o caractere "N", por este apresentar maior uniformidade dos traços e por estar localizado na região central da amostra.

Outrossim, após a remoção inicial (a 90  $\mu\text{m}$  abaixo da cavidade criada pela impressão), a chapa sofreu perdas de espessuras, com o auxílio de uma lixa d'água de P100, em passos de aproximadamente 200  $\mu\text{m}$  (0,2 mm). Os resultados obtidos, neste teste, serão apresentados a seguir.

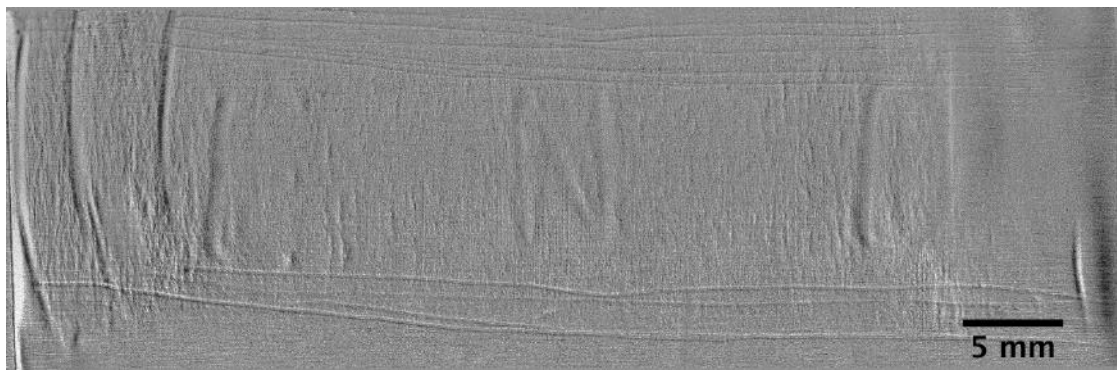
#### 4.3.1. Revelação por CP/M/VMO

Com base nos magnetogramas ilustrados nas figuras abaixo, a técnica de revelação por CP/M/VMO foi capaz de restaurar a marcação original "N" com excelente contraste e nitidez até uma profundidade de 260  $\mu\text{m}$  (0,26 mm) abaixo da cavidade (Figura 69 e

Figura 70). A partir de 470  $\mu\text{m}$  (0,47 mm) não foi possível recuperar o código original, como mostrado nas Figura 71 e 72.



**Figura 69.** Magnetograma da amostra veículo B\_1. Profundidade de 290  $\mu\text{m}$ , 90  $\mu\text{m}$  abaixo da cavidade.



**Figura 70.** Magnetograma da amostra veículo B\_1.2. Profundidade de 460  $\mu\text{m}$ , 260  $\mu\text{m}$  abaixo da cavidade.



**Figura 71.** Magnetograma da amostra veículo B\_1.3. Profundidade de 670  $\mu\text{m}$ , 470  $\mu\text{m}$  abaixo da cavidade.



**Figura 72.** Magnetograma da amostra veículo B\_1.4. Profundidade de 870  $\mu\text{m}$ , 670  $\mu\text{m}$  abaixo da cavidade.

#### 4.3.2. Revelação por Partículas Magnéticas (PM)

A técnica de revelação por PM foi capaz de restaurar o caractere “N” com nitidez e contraste excelentes até uma profundidade de 470  $\mu\text{m}$  (0,47 mm) abaixo da cavidade (Figura 73, Figura 74 e Figura 75).

A 670  $\mu\text{m}$  (0,67 mm) iniciou-se a perda de contraste, culminando na apresentação difusa da letra (Figura 76). Assim sendo, a 670  $\mu\text{m}$ , foi possível visualizar o caractere, contudo com pouca clareza.



**Figura 73.** Revelação por PM amostra veículo B\_1. Profundidade de 290  $\mu\text{m}$ , 90  $\mu\text{m}$  abaixo da cavidade.





**Figura 74.** Revelação por PM da amostra veículo B\_1.2. Profundidade de 460  $\mu\text{m}$ , 260  $\mu\text{m}$  abaixo da cavidade.



**Figura 75.** Revelação por PM da amostra veículo B\_1.3. Profundidade de 670  $\mu\text{m}$ , 470  $\mu\text{m}$  abaixo da cavidade.

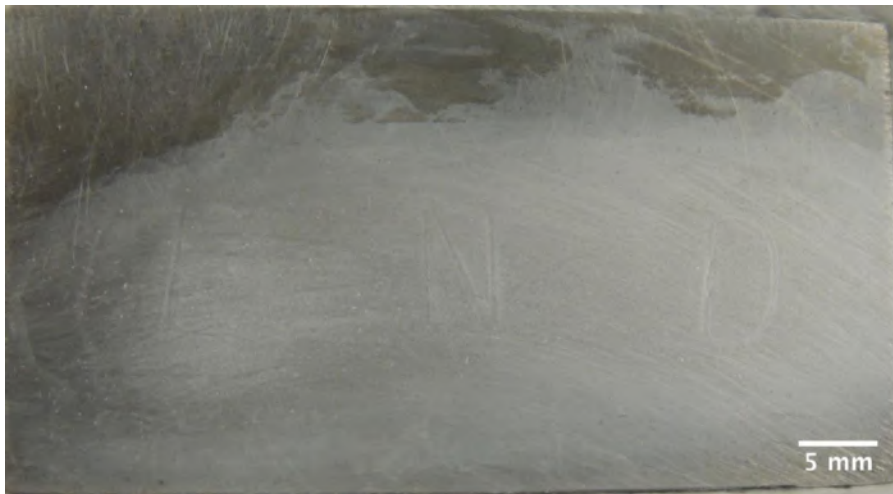


**Figura 76.** Revelação por PM da amostra veículo B\_1.4. Profundidade de 870  $\mu\text{m}$ , 670  $\mu\text{m}$  abaixo da cavidade.

### 4.3.3. Revelação por Ataque Eletrolítico

O método de revelação por ataque eletrolítico, após a implementação do procedimento descrito no item 4.2.1, foi capaz de recuperar a marcação original até uma profundidade de 470  $\mu\text{m}$  (0,47 mm) abaixo da cavidade (Figura 77, Figura 78 e Figura 79).

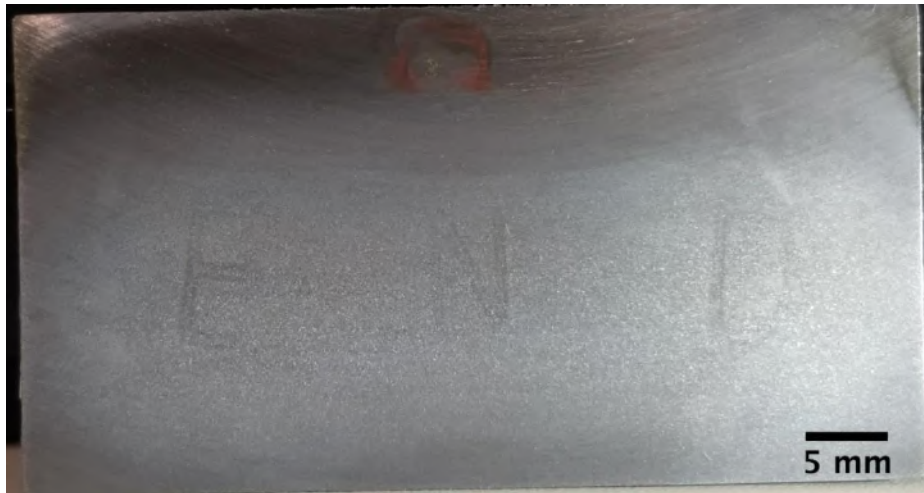
A 670  $\mu\text{m}$  (0,67 mm) abaixo da cavidade, não foi possível recuperar o código original, entretanto, pode-se identificar nuances do caractere, porém a sua identificação foi inviável (Figura 80).



**Figura 77.** Revelação por ataque eletrolítico da amostra veículo B\_1. Profundidade de 290  $\mu\text{m}$ , 90  $\mu\text{m}$  abaixo da cavidade.



**Figura 78.** Revelação por ataque eletrolítico da amostra veículo B\_1.2. Profundidade de 460  $\mu\text{m}$ , 260  $\mu\text{m}$  abaixo da cavidade.



**Figura 79.** Revelação por ataque eletrolítico da amostra veículo B\_1.3. Profundidade de 670  $\mu\text{m}$ , 470  $\mu\text{m}$  abaixo da cavidade.



**Figura 80.** Revelação por ataque eletrolítico da amostra veículo B\_1.4. Profundidade de 870  $\mu\text{m}$ , 670  $\mu\text{m}$  abaixo da cavidade.

É importante salientar que as amostras veículo B\_1.2 e veículo B\_1.3 (Figura 78 e Figura 79) apresentaram melhor contraste e definição, em comparação com a amostra veículo B\_1 (Figura 77) devido à variação de rugosidade superficial (a amostra veículo B\_1 teve sua marcação removida com uma lixa d'água de P60, enquanto as demais foram lixadas por uma lixa d'água de P100).

## 4.4. Comparação dos Resultados

Baseado nos resultados apresentados nos itens anteriores, as técnicas foram comparadas levando em consideração: tempo de análise, detecção e visualização, sensibilidade (limite de detecção), versatilidade, segurança, mobilidade (aplicação em campo) e custo. Cada fator será discutido nos itens a seguir, para maiores detalhes as informações dispostas estão resumidas nas tabelas 22, 23 e 24, as quais estão apresentadas no Anexo A.

### 4.4.1. Tempo de análise

O tempo de análise de cada técnica foi medido a partir do recebimento de cada amostra adulterada até a aquisição da imagem dos resultados.

A revelação por CP/M/VMO e por PM tiveram uma duração aproximadamente constante para cada amostra. Na inspeção por CP/M/VMO o tempo para realização da magnetografia e aquisição da imagem foi de 7 a 10 minutos, no qual o maior tempo foi referente a análise das amostras de menores dimensões (Veículo A\_1 e veículo A\_2), pois o pequeno tamanho dificultou o manuseio do indutor no momento da varredura.

No ensaio de partículas magnéticas, o tempo para aplicação e secagem da tinta contraste foi de no máximo 2 minutos; enquanto que a fixação das amostras no imã permanente, a dispersão das partículas e aquisição de imagem foi de aproximadamente 7 minutos, culminando em um total de 9 minutos de duração, por amostra.

O tempo para restauração por ataque eletrolítico variou de amostra para amostra, como apresentado na Tabela 16.

Devido à rugosidade da superfície, o ataque não pode ser aplicado por tempos prolongados, pois, segundo experimentos preliminares realizados em uma amostra teste, os riscos da superfície são corroídos a uma taxa semelhante a zona de deformação causada pelas marcações, reduzindo muito o contraste entre os caracteres restaurados e o fundo, impossibilitando sua identificação.



**Tabela 18.** Duração da técnica de revelação por ataque eletrolítico.

	<b>Ataque Eletrolítico</b>		
	<b>Amostras</b>	<b>Duração do Ataque (minutos)</b>	<b>Com Aquisição de Imagem (minutos)</b>
	Veículo A_1	10	30
	Veículo A_2	6,5	26,5
	Veículo B_1	4	24
<b>Teste de Limite de Detecção</b>	Veículo B_1.2	8	28
	Veículo B_1.3	7	27
	Veículo B_1.4	7	27
	Veículo B_2	5	25
	Veículo B_3	16	36
	Veículo B_4	15	35

Assim, a revelação por ataque eletrolítico teve uma duração média de 9 minutos. Entretanto, os códigos revelados apresentaram baixíssimo contraste inviabilizando a aquisição de imagem sem uma preparação do ambiente e luminosidade. Deste modo, como citado anteriormente, foi necessário implementar um procedimento subsequente, no qual as amostras foram levadas a uma sala fechada, sem influência de luz externa, e sobre elas foi incidida uma luz não polarizada, em angulações específicas, para possibilitar a identificação dos códigos e a captura da imagem. Este procedimento teve uma duração média de 20 minutos, resultando em um tempo total de aproximadamente 30 minutos.

Portanto, as técnicas não destrutivas apresentaram menor tempo de análise em comparação com a técnica destrutiva (Tabela 19).

**Tabela 19.** Tempo de duração total das técnicas

<b>CP/M/VMO</b>	7-10 minutos
<b>PM</b>	9 minutos
<b>Ataque Eletrolítico</b>	30 minutos

#### 4.4.2. Detecção e Visualização

Com base nas imagens obtidas, houveram alguns fatores físicos, como o dimensionamento das amostras e a não uniformidade das impressões, que podem ter influenciado nos resultados obtidos pelas técnicas não destrutivas. Entretanto, apesar desses fatores, as técnicas de restauração não destrutivas sugeridas se provaram capazes de restaurar códigos originais com nitidez e contrastes satisfatórios e em curto período, em comparação com os resultados obtidos pela técnica destrutiva.

Em adição, nas amostras remarcadas: veículo A\_2 e veículo B\_2, os códigos originais restaurados por ataque eletrolítico apresentaram um melhor contraste e nitidez em comparação com os resultados obtidos por CP/M/VMO e PM. Contudo, para tal, foi necessário aplicar um procedimento subsequente ao ataque eletrolítico, o qual será de difícil reprodução em campo, podendo se tornar uma desvantagem.

#### 4.4.3. Limite de Detecção

Segundo os resultados obtidos no teste de limite de detecção (Tabela 20), a técnica de revelação por partículas magnéticas apresentou o maior limite de detecção sendo capaz de restaurar a marcação estampada em um aço baixo carbono (1005), até uma profundidade de 670  $\mu\text{m}$  abaixo da cavidade.

A técnica de revelação por ataque eletrolítico também apresentou satisfatória sensibilidade sendo capaz de restaurar o código até uma profundidade de 470  $\mu\text{m}$  abaixo da cavidade. Por fim, a revelação por CP/M/VMO apresentou o menor limite de detecção, sendo capaz de revelar a marcação até uma profundidade de 260  $\mu\text{m}$  abaixo da cavidade.

**Tabela 20.** Limite de detecção das técnicas de revelação

<b>Profundidade Abaixo da Cavidade</b>	<b>Revelação por CP/M/VMO</b>	<b>Revelação por Partículas Magnéticas</b>	<b>Revelação por Ataque Eletrolítico</b>
<b>90 µm</b>	Visível (Claro)	Visível (Claro)	Visível (Claro)
<b>260 µm</b>	Visível (Claro)	Visível (Claro)	Visível (Claro)
<b>470 µm</b>	Invisível	Visível (Claro)	Visível (Claro)
<b>670 µm</b>	Invisível	Visível (Pouca Clareza)	Invisível

O limite de detecção obtido pela técnica de revelação por PM condiz com o encontrado por (M & TURLEY, 1987) em sua pesquisa, na qual para uma profundidade de marcação estampada de 200 µm, a profundidade de restauração por partículas magnéticas foi de aproximadamente 620 µm.

Outrossim, a tecnologia de visualização magneto-óptica (CP/M/VMO) utilizada neste trabalho, apesar de possuir o menor limite de detecção, se mostrou mais sensível do que a tecnologia utilizada por (JONES, 2015), no qual o sensor magneto-óptico aplicado foi capaz de restaurar códigos a uma profundidade máxima de 100 µm, em um aço de baixo carbono 1018, identificado por estampagem.

#### 4.4.4. Versatilidade

Em termos de versatilidade, a técnica de CP/M/VMO supera os outros métodos utilizados neste trabalho. Essa, além de possuir baixa sensibilidade a composição química do material, também é capaz de analisar materiais ferromagnéticos e paramagnéticos, apesar deste último não ter sido explorado nesse trabalho. Já a restauração por partículas magnéticas é restrita apenas a materiais ferromagnéticos. Essa limitação restringe a sua aplicação na investigação de alguns veículos modernos e de motocicletas, cujos números de identificação veicular são impressos em superfícies paramagnéticas.

A revelação por ataque eletrolítico apesar de aplicável a diversas ligas metálicas, exige a necessidade do conhecimento dos reagentes ideais para cada composição química. Apesar do reagente de *Fry* ser popular na literatura, por possuir a maior taxa de sucesso, este é voltado apenas para revelação macroscópica em aços. No caso de ligas de alumínio, ainda não existe um procedimento e reagentes ideais para restauração.

#### 4.4.5. Segurança

Em termos de segurança as técnicas não destrutivas se mostraram superiores a destrutiva, pois não causam riscos à saúde do operador e ao meio ambiente, diferentemente dos métodos de revelação por ataque químico ou eletrolítico, os quais, em alguns casos, fazem uso de reagentes nocivos à saúde, exigindo a utilização de equipamentos de segurança ao manuseá-los, além de necessitarem de um descarte especial.

#### 4.4.6. Mobilidade

Todas as técnicas se mostraram aptas a serem incorporadas em campo. Entretanto, a técnica de CP/M/VMO, considerando a área de aplicação em questão, apresenta a maior mobilidade das técnicas estudadas neste trabalho, pois essa foi manufaturada visando portabilidade e direcionada para a área de inspeção veicular, contando, assim, com ferramentas específicas que permitem a análise em diversas áreas do veículo, inclusive em regiões de difícil acesso.

No caso da técnica de revelação por ataque eletrolítico, com base nos resultados obtidos, dependendo do aspecto da superfície a ser inspecionada e da iluminação, a visualização dos caracteres restaurados será dificultada.

Como discutido no item 2.4, a inspeção é realizada em campo aberto e dentro dos veículos, dificultando a aplicação dos artifícios empregados neste trabalho na identificação da restauração e aquisição de imagem. Não obstante, algumas metodologias sugeridas na literatura também são de difícil aplicabilidade nestas

condições. (YIN & KUPPUSWAMY, 2009, AZLAN MOHD. ZAILI *et al.*, 2007b, IZHAR MOHD *et al.*, 2008)

Por conseguinte, considerando a realidade da restauração aplicada pelos peritos brasileiros, a técnica de inspeção por partículas magnéticas deverá ser adequada para a análise em determinadas áreas do veículo. Apesar desta técnica ser voltada para aplicação em campo, em outros segmentos da indústria, no caso de investigação veicular, a configuração padrão de partículas magnéticas irá dificultar a aplicação desta na análise de algumas regiões no interior do veículo.

#### 4.4.7. Custo

No levantamento de custo de operação foram levantados apenas os valores referentes as tecnologias não destrutivas (Tabela 21), por serem estas novas metodologias sugeridas para área.

**Tabela 21.** Comparação de custo entre CP/M/VMO e Partículas Magnéticas.

<b>CP/M/VMO (Regula 7505 e 7515)</b>	R\$ 200.000,00
<b>Partículas Magnéticas</b>	R\$ 2.148,23
<b>Ataque Eletrolítico</b>	R\$ 1.604,00

No levantamento de custo da revelação por PM foi considerado: Yoke (eletroímã), 1kg de partículas magnéticas cor preta para aplicação via úmida, tinta de contraste cor branca e tubo decantador.

No levantamento de custo da revelação por ataque eletrolítico foi considerado: Fonte para ataque eletrolítico e kit com 7 reagentes (reagente de Fry, reagente de Turner, reagente de David, 25% de ácido nítrico, cloreto férrico ácido, cloreto férrico e 10% de hidróxido de sódio).

As informações quanto ao custo de cada técnica foram oferecidas pelas empresas *Regula Forensics LATAM, Metal Chek. e CSI Forensic Supply.*

## 5. Conclusão

De acordo com os resultados obtidos, na restauração das amostras, cujos códigos originais foram adulterados por remoção, ambas as técnicas não destrutivas foram capazes de revelar as marcações originais com bom contraste e nitidez. Contudo, na revelação por partículas magnéticas, o método de aplicação por via seca não foi capaz de revelar os códigos originais. Desta forma, para a aplicação em questão, o método de revelação por partículas magnéticas via úmida se mostrou mais adequado.

Em adição, nas amostras adulteradas por remarcação, a sobreposição das zonas de deformação plástica afetou a nitidez dos caracteres revelados, dificultando o processo de restauração em todas as técnicas implementadas nesse trabalho. Entretanto, apesar deste fato, as técnicas de revelação por partículas magnéticas e por CP/M/VMO apresentaram satisfatórios resultados. Todavia, será necessária a realização de testes em amostras com maiores dimensões para aferir, com mais exatidão, o desempenho das técnicas de CP/M/VMO e PM nesse tipo de investigação.

Em suma, do ponto de vista experimental, a técnica de partículas magnéticas apresentou o melhor desempenho, apresentando boa definição dos códigos restaurados e maior limite de detecção (670  $\mu\text{m}$ ). Porém, do ponto de vista da aplicação prática de investigação veicular, a técnica de CP/M/VMO apresentou a melhor performance, por se tratar de uma tecnologia portátil, diretamente voltada para investigação veicular e com limite de detecção ideal para a aplicação em questão. Em adição, por ser capaz de analisar diferentes regiões do veículo em um curto espaço de tempo, a técnica de CP/M/VMO se mostrou apta a otimizar a perícia veicular e reduzir o tempo de obtenção de resultados atendendo a necessidade dos peritos brasileiros em obter evidências, confiáveis, em menor tempo.

## 6. Sugestão de Trabalhos Futuros

1. Realizar ensaios em amostras com marcações realizadas por equipamentos ou empresas especializadas.
2. Aplicar as técnicas de CP/M/VMO e PM in situ, em um trabalho em conjunto com os órgãos de segurança pública.
3. Estudar sobre a influência das marcações por gravação na microestrutura e pesquisar sobre a aplicabilidade das técnicas de CP/M/VMO e Partículas Magnéticas na restauração desse tipo de impressão.
4. Estudar sobre a influência das marcações a laser na microestrutura e pesquisar sobre a aplicabilidade das técnicas de CP/M/VMO e Partículas Magnéticas na restauração desse tipo de impressão.
5. Pesquisar sobre sensores magneto-ópticos e como aprimora-los de forma a aumentar o limite de detecção da técnica.
6. Estudar sobre a aplicabilidade da inspeção por Ferrofluido na restauração de marcações gravadas adulteradas.

## 7. Referências

- ABNT, 2001. "Veículos Rodoviários - número de identificação de veículos (VIN) - ABNT NBR 6066". . S.I.: s.n.
- AGALIDI, Y., KOZHUKHAR, P., LEVYI, S., et al., 2011, "Eddy current fields/magnetic recording/magneto-optic imaging NDI method". In: *Taylor & Francis*. v. 27, pp. 109–119.
- ANDREUCCI, R., 2014, *Partículas Magnéticas*. . S.I., Abendi.
- ARCELORMITTAL, 2017, "Extract from the product catalogue". In: . pp. 176.
- ASM, I., 2004, *ASM Handbook, Eletromagnetic Testing*. . S.I., s.n.
- AZLAN MOHD. ZAILI, M., KUPPUSWAMY, R., HAFIZAH, H., 2007a, "Restoration of engraved marks on steel surfaces by etching technique". In: *Forensic Science International*. v. 171, pp. 27–32.
- AZLAN MOHD. ZAILI, M., KUPPUSWAMY, R., HARUN, H., 2007b, "Restoration of engraved marks on steel surfaces by etching technique". In: *Forensic Science International*. v. 171, pp. 27–32.
- BRANSKY, J., 1981. *Magneto-Optic Effects And Applications*. S.I.
- CALLISTER, W., 2012, *Materials Science and Engineering*. . S.I., s.n.
- CENTER, E.T., 2015. Disponível em: <<http://www.edisontechcenter.org/MagRec.html>>. Acessado em: 14 Março 2017.
- CENTER, N.R., 2017. Disponível em: <<https://www.nde-ed.org/EducationResources/CommunityCollege/MagParticle/Introduction/history.htm>>. Acessado em: 7 Janeiro 2018.
- CONTRAN, 1985. "Dispõe sobre o número de identificação de veículos". . 1985. Brasil: s.n.
- DIETER, G.E., 1988, *Mechanical Metallurgy*. . S.I., McGraw Hill Book Company.
- F. CUNLIFFE, P.B.P., 1980, *Criminalistic and Scientific Investigations*. . New Jersey, Prentice Hall.
- FIETO, B.M., 2013. *EVOLUÇÃO DA MICROESTRUTURA E DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE AÇOS IF TRATADOS TERMOMECHANICAMENTE*. . S.I.: s.n.
- FORTINI, A., MERLIN, M., SOFFRITTI, C., et al., 2016, "Restoration of Obliterated Numbers on 40NiCrMo4 Steel by Etching Method: Metallurgical and Statistical Approaches". In: *Journal of Forensic Sciences*. v. 61, pp. 160–169.
- GERDAU, 2003, "Catalogo Aços Planos". In: .
- GIESSEN BILL, C., POLK DONALD, E., BARNARD JAMES A, W., 1975, "The Application of Materials Science Methods to Forensic Problems? Principles, Serial Number Recovery, and Paper Identification". In: *Forensic Science*. v. 13, pp. 58–74.



- HULL, D., BACON, D.J., 2011. "Movement Of Dislocations". In: *Introduction to Dislocations*. S.l.: s.n. pp. 43–62.
- INTERPOL, 2014. *Analytical Report-Motor Vehicle Crimes in Global Perspective*. S.l.
- INTERPOL, 2016. Disponível em: <<http://www.interpol.int/Crime-areas/Vehicle-crime/Database-statistics>>. Acessado em: 24 Janeiro 2017.
- ISP, 2017. INSTITUTO DE SEGURANÇA PÚBLICA. Disponível em: <<http://www.isp.rj.gov.br/>>. Acessado em: 13 Fevereiro 2017.
- IZHAR MOHD, M.B., KUPPUSWAMY, R., RAHMAN, A.A., 2008, "Recovering obliterated engraved marks on aluminium surfaces by etching technique". In: *Forensic Science International*. v. 177.
- JONES, A.W., 2015. *The Impact Of Forensic Science Research and Development*. S.l.
- KATTERWE, H., 1996, "Modern approaches for the examination of toolmarks and other surface marks". In: *forensic science review*. v. 8, pp. 45–72.
- KEHL, G.L., 1949, *The principles of metallographic laboratory practice*. . S.l., McGraw Hill Book Company.
- KUPPUSWAMY, R., 2010. "Metallographic Etching of Aluminium and Its Alloys for Restoration of Obliterated Marks in Forensic Science Practice and Investigations". In: *Aluminium Alloys, theory and applications*. S.l.: s.n. pp. 331–353.
- LEE J., LEE H., SHOJI T., M.D., 1998, "Application of magneto-optical method for inspection of the internal surface of tube". In: *Electromagnetic nondestructive evaluation (II)*. pp. 49–57.
- LIM, J., LEE, H., LEE, J., et al., 2002, "Application of a NDI method using magneto-optical film for micro-cracks". In: *KSME International Journal*. v. 16, pp. 591–598.
- M, D., TURLEY, M., 1987, "Components Restoration of Stamp Marks on Steel Components Etching and Magnetic Magnetic Techniques by Etching". In: *Journal of Forensic Sciences*. v. 32, pp. 640–649.
- MORAES, A.L. DE, CARVALHO, F.A. DE, 2016. *Análise da Microestrutura e das Propriedades Mecânicas do Aço IF - Nb / Ti*. . S.l.: Centro Federal De Educação Tecnológica Celso Suckow Da Fonseca – CEFET / RJ.
- NDT, R.C., 2016. Disponível em: <<https://www.nde-ed.org/EducationResources/CommunityCollege/MagParticle/TestingPractices/Dr y Particle.htm>>. Acessado em: 10 Dezembro 2017.
- NOVOTNÝ, P., MOROZOV, M., HUDEC, L., 2002, "On the application of magneto-optic films in NDE". In: *NDT and E International*. v. 35, pp. 227–232.
- OLYMPUS, 1999. CURRENT. Disponível em: <<https://www.olympus-ims.com/en/eddycurrenttesting/>>. Acessado em: 10 Dezembro 2017.
- P. NOVOTNY, 1992. "Measurement of local magnetic fields using garnets films". In: *Proceedings of magnetic measurements 92 conference*. Prague: s.n. 1992. pp.

91–92.

- POLK, D.E., GIESSEN, B.C., 1989, "Metallurgical aspects of serial number recovery". In: *AFTE Journal*. v. 21, pp. 174–181.
- RICHA, KESHARWANI, L., GUPTA, A.K., et al., 2013, "Development of new reagent for restoration of erased serial number on metal plates". In: *Egyptian Journal of Forensic Sciences*. v. 3, pp. 26–34.
- SCIENCE SYSTEMS, R.F., 2010, *Operating Manual: Eddy-current magnetographing device of metal surface Regula model 7515*. . S.I., s.n.
- STRAUFFER, E., BONFANTI, M., 2006. "Restoration of Serial Numbers". In: *Forensic Investigation of Stolen-Recovered and Other Crime Related Vehicles*. S.I.: s.n. pp. 177–207.
- STREET, S., AWARD, F.Y., 2015, "Technology Evaluation Forensic Technology Center of Excellence : Validation and Evaluation of Magneto-Optical Imaging Technology for Recovering Obliterated Serial Numbers in Firearms National Institute of Justice Office of Investigative and Forensic Scien". In: .
- THORNTON, J.I., CASHMAN, P.J., 1976, "The mechanism of restoration of obliterated serial numbers by acid etching". In: *Journal - Forensic Science Society*. v. 16, pp. 69–71.
- TROITSKIY, V.A., M, P.I., S, A.Y., et al., 2010. *Magneto-Optic Flaw Detection of Subsurface Layers of Ferromagnetic Products*. S.I.
- UTRATA, D., JOHNSON, M.J., 2003. *Magnetic particle recovery of serial numbers*. S.I.
- VOLKERS, R., 2008. *The influence of dislocations on magnetic properties of steel-magnetization curve and magnetic barkhausen effect in relation to deformation and recovery in C-Mn and IF steel*. . S.I.: s.n.
- VANDER VOORT, G.F., 1984, *Metallography, principles and practice*. . New York, McGraw Hill Book Company.
- VANDER VOORT, G.F., 1986, *Applied metallography*. . New York, Nostrand Reinhold Company.
- YIN, S.H., KUPPUSWAMY, R., 2009, "On the sensitivity of some common metallographic reagents to restoring obliterated marks on medium carbon (0.31% C) steel surfaces". In: *Forensic Science International*. v. 183, pp. 50–53.
- ZHANG, W., ELMER, J.W., DEBROY, T., 2002, "Modeling and real time mapping of phases during GTA welding of 1005 steel". In: *Materials Science and Engineering A*. v. 333, pp. 320–335.

# Anexo A

**Tabela 22.** Resumo do desempenho das técnicas implementadas nas análises, em laboratório, das amostras veículo A<sub>i</sub> \*.

	Veículo A_1			Veículo A_2		
	CP/M/VMO	PM	A. Eletrolítico	CP/M/VMO	PM	A. Eletrolítico
Tempo de Análise	+++	+++	+	+++	+++	+
Deteção e Visualização	++	++	++	+	+	++

**Tabela 23.** Resumo do desempenho das técnicas implementadas nas análises em laboratório das amostras veículo B<sub>i</sub> \*.

	Veículo B_1			Veículo B_2			Veículo B_3			Veículo B_4		
	CP/M/VMO	PM	A. Eletrolítico	CP/M/VMO	PM	A. Eletrolítico	CP/M/VMO	PM	A. Eletrolítico	CP/M/VMO	PM	A. Eletrolítico
Tempo de Análise	+++	+++	+	+++	+++	+	+++	+++	+	+++	+++	+
Deteção e Visualização	+++	+++	++	++	++	+++	-	-	-	-	-	-

**Tabela 24.** Resumo do desempenho das técnicas implementadas, com base nos resultados obtidos, visando a aplicação prática\*.

	CP/M/VMO	PM	A. Eletrolítico
Limite de Deteção	+	+++	++
Versatilidade	+++	++	++
Segurança	+++	+++	+
Mobilidade	+++	++	++
Custo	+	++	+++

\* Escala: (-) Sem Resultados (+) Razoável Desempenho (++) Bom Desempenho (+++) Muito Bom Desempenho

# Anexo B

## PRODUÇÃO BIBLIOGRÁFICA

### Congressos

---

- [Conferência sobre Tecnologia de Equipamentos \(COTEQ\)](#)

Apresentação oral do trabalho: "Visualização magneto-óptica para caracterizar placas metálicas com numeração adulterada" M.G.B. Lima; P.E.M. Mineiro; M.C.S. Nóbrega; J. da Mata; C.J. Pacheco; G.R. Pereira. Rio de Janeiro, Brasil – 2017.

- [22st International Workshop on Electromagnetic Nondestructive Evaluation – ENDE](#)

Apresentação oral do trabalho: "Restoration of Obliterated Engraved Marks on Metallic Surface by Magneto-Optic Imaging and Chemical Etching". M.G.B. Lima; C.J. Pacheco; G.R. Pereira; P.E.M. Mineiro; M.C.S. Nóbrega; G.R. Pereira. Saclay, França – 2017

- [Congresso Anual ABM - ABM Week, 2017](#)

Apresentação de pôster do trabalho: "Recuperação de marcações adulteradas em chapas metálicas pelo método não destrutivo de visualização magneto-óptica" M.G.B. Lima; C.J. Pacheco; G.R. Pereira; M.C.S. Nóbrega; G.R. Pereira. Rio de Janeiro, Brasil – 2017

- [Revista dos anais do XXIV Congresso de Criminalística.](#)

Publicação de resumo expandido em anais: de pôster com o trabalho: "Restauração de Marcações Adulteradas em Chapas Extraídas de Chassi por Visualização Magneto-Óptica e Ataque Químico" M.G.B. Lima; C.J. Pacheco; G.R. Pereira; M.C.S. Nóbrega; G.R. Pereira. Florianópolis, Brasil - 2017

- [Painel PEMM e Terceira Semana Metalmat 2017.](#)

Apresentação oral do trabalho: "Restauração de marcações removidas por desgaste por efeito magneto-óptico " M.G.B. Lima; C.J. Pacheco; G.R. Pereira; M.C.S. Nóbrega; G.R. Pereira. Rio de Janeiro, Brasil - 2017.

**Prêmio:** Melhor trabalho de mestrado categoria Oral.

---