

# ANÁLISE METALOGRÁFICA E QUANTIFICAÇÃO DE FERRITA EM UM AÇO DE ALTA DUREZA, APÓS TRATAMENTOS TÉRMICOS DE TÊMPERA E REVENIDO\*

Suzane de Sant'ana Oliveira<sup>1</sup>  
Karollyne Gomes de Castro Monsores<sup>2</sup>  
Anderson Oliveira da Silva<sup>3</sup>  
João Gabriel Passos Rodrigues<sup>4</sup>  
Ricardo Pondé Weber<sup>57</sup>

## Resumo

Blindagens metálicas são muito empregadas em carros de combate, isso devido ao seu baixo custo, quando comparadas aos outros tipos de blindagens, a saber, poliméricas, cerâmicas e compósitas, e as propriedades obtidas por meio de tratamentos térmicos de têmpera e revenido, como dureza e tenacidade. Essas propriedades, antagônicas para o aço, permitem com que a ponta do projétil seja quebrada (dureza) e a energia de impacto seja absorvida (tenacidade). Um dos fatores que são de suma importância para a blindagem é a microestrutura, sendo a martensita revenida considerada ideal. Dessa forma, este trabalho teve por objetivo analisar metalograficamente, com auxílio do reagente Behara modificado e do software ImageJ, um aço de alta dureza que passou pelo tratamento térmico de revenido nas seguintes temperaturas: 310°C1h, 425°C e 610°C, por 1 hora. Verificou-se a presença nítida da martensita revenida e baixos percentuais de ferrita. Os resultados mostraram que o percentual de ferrita foi crescente, de acordo com o aumento da temperatura de revenido.

**Palavras-chave:** Blindagens metálicas; Ferrita; Análise metalográfica; Tratamento térmico.

## METALOGRAPHIC ANALYSIS AND QUANTIFICATION OF FERRITA IN A HIGH HARD STEEL, AFTER THERMAL TREATMENT OF QUENCHING AND TEMPERING

### Abstract

Metallic armors are widely used in battle cars because of their low cost compared to other types of armors, namely, polymeric, ceramic and composite, and properties obtained by quenching and tempering heat treatments such as hardness and tenacity. These properties, antagonistic to steel, allow the tip of the projectile to be broken (hardness) and the impact energy to be absorbed (toughness). One of the factors that are of great importance for the shielding is the microstructure, with the martensite being considered ideal. Thus, this work had the objective of analyzing metallographically, with the aid of the modified Behara reagent and the ImageJ software, high hardness armor steel that passed through the tempering heat treatment at the following temperatures: 310 ° C1h, 425 ° C and 610 ° C, for 1 hour. The presence of fresh martensite and low percentages of ferrite were observed. The results showed that the percentage of ferrite was increasing, according to the increase of the tempering temperature.

**Keywords:** Metal shields; Ferrite; Metallographic analysis; Heat treatment.

<sup>1</sup> *Tecnologia em Processos Metalúrgicos, Mestre, Doutoranda em Ciência dos Materiais, Seção de Engenharia Mecânica e de Materiais, Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.*

- <sup>2</sup> *Tecnologia de Polímeros, Mestre, Doutoranda em Ciência dos Materiais, Seção de Engenharia Mecânica e de Materiais Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro e Brasil.*
- <sup>3</sup> *Licenciatura em Química, Mestre, Doutorando em Ciência dos Materiais, Seção de Engenharia Mecânica e de Materiais Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro e Brasil.*
- <sup>4</sup> *Engenharia de Petróleo, Mestrando em Ciência dos Materiais, Seção de Engenharia Mecânica e de Materiais Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro e Brasil*
- <sup>5</sup> *Engenharia Mecânica, Doutor, Professor do curso de Ciência dos Materiais, Seção de Engenharia Mecânica e de Materiais, Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.*

## 1 INTRODUÇÃO

Materiais metálicos ainda são os mais utilizados na construção de blindagens balísticas para carros de combate. Isso ocorre devido ao baixo custo, apresentado por esta classe, quando comparado a dos seguintes materiais: poliméricos, cerâmicos e compósitos, além das excelentes propriedades obtidas por meio dos tratamentos térmicos de têmpera e revenido [1,2].

A elaboração de uma blindagem metálica eficaz exige uma série de cuidados, dentre os quais os tratamentos térmicos de têmpera e revenido contribuem fortemente na formação da microestrutura de martensita revenida, proporcionando propriedades antagônicas para um aço, como dureza e tenacidade. Essas propriedades são de suma importância para uma blindagem, pois a dureza auxilia na quebra da ponta do projétil, enquanto a tenacidade, na absorção da energia do impacto [3,4].

Um dos aços mais empregados desde a 2ª Guerra mundial é o de alta dureza, conhecido como HHA (High Hardness Armor steel). A produção deste aço é realizada de forma padronizada, a fim de obter um produto que apresente um bom desempenho balístico [4,5,6].

Há indícios na literatura de que as microestruturas de martensita revenida e bainita inferior podem ser adequadas no emprego de blindagens metálicas [3,4]. Além disso, percentuais elevados de austenita retida podem ser prejudiciais ao desempenho balístico [4,7]. Sendo assim, o objetivo deste artigo foi analisar metalograficamente as fases geradas após os tratamentos térmicos de têmpera e revenido, em um aço HHA, desenvolvido por siderúrgicas nacionais, além de quantificar o percentual de ferrita com o auxílio do software ImageJ [8,9].

## 2 DESENVOLVIMENTO

### 2.1 Material

Foi utilizado, como objeto de estudo, um aço HHA produzido por siderúrgicas nacionais. Este aço foi recebido nas dimensões 500 mm x 500 mm x 7 mm e com os seguintes tratamentos: laminação, têmpera (aproximadamente 910°C) e revenido em 310°C. Na tabela 1 é apresentada a composição química do aço HHA.

**Tabela 1.** Composição química do aço HHA (%)

C	Mn	P	S	Si	Ni	Cr	Ti	Nb	Cu	Al	Mo
0,210	1,011	0,014	0,004	1,090	0,529	0,571	0,021	0,023	0,013	0,068	0,394

Para desenvolver esse trabalho, 3 corpos de prova com 150 mm x 100 mm foram extraídos por meio de um corte a laser. Posteriormente, na empresa Temperaço, foi realizado um novo processo de têmpera a 910°C, e posteriormente, revenido nas seguintes temperaturas: 310°C, 425°C e 610°C, por 1 hora. O resfriamento foi realizado ao ar.

Na Tabela 2 são apresentadas as medidas de dureza após a realização dos tratamentos.

**Tabela 2.** Medida de dureza Rockwell C

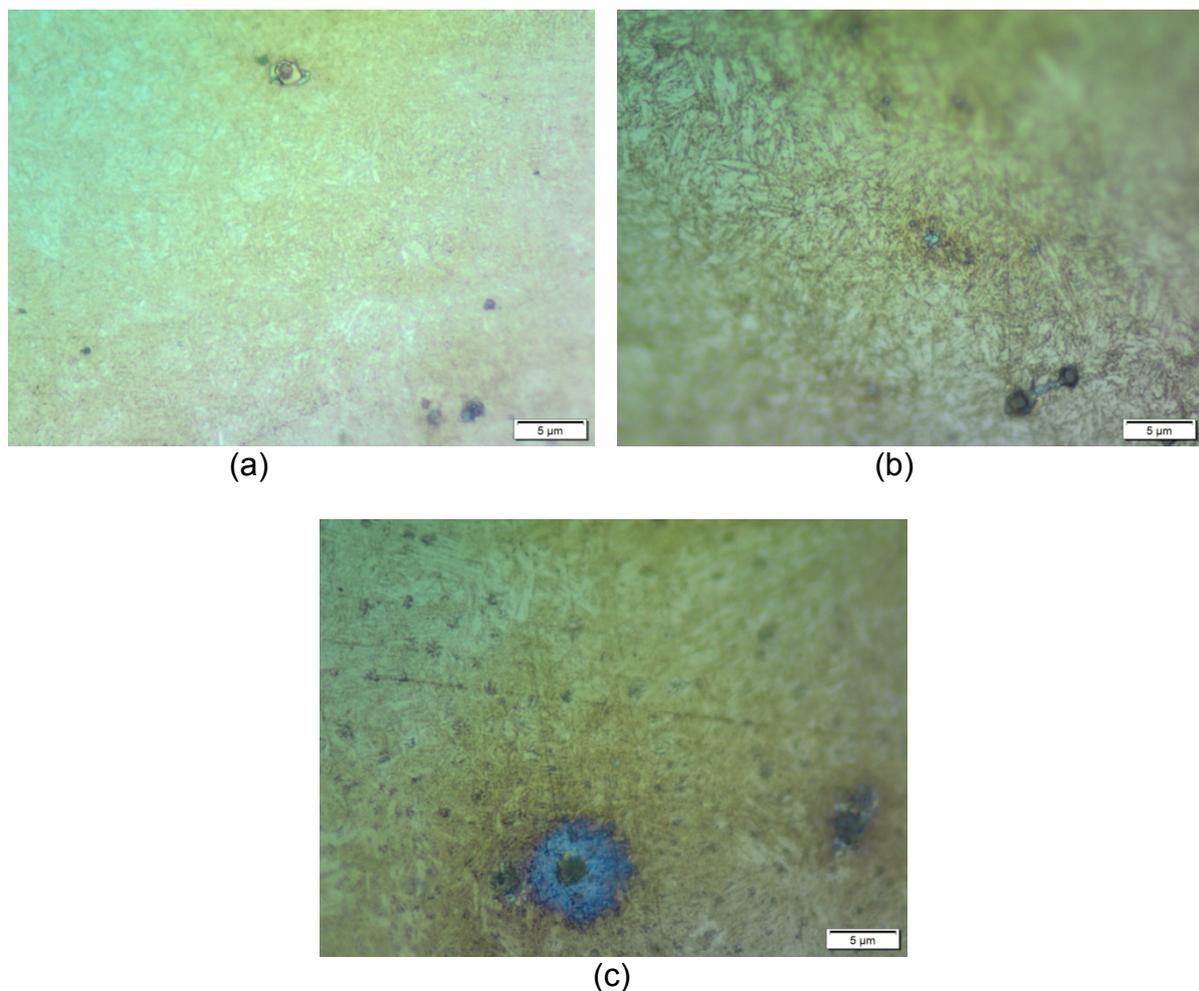
Tratamentos e temperaturas	Dureza (HRC)
Revenido a 310°C	51
Revenido a 425°C	46
Revenido a 610°C	37

## 2.2 Métodos de caracterização

Após serem tratados termicamente, 3 corpos de prova foram selecionados e preparados metalograficamente [9]. Essas amostras foram atacadas quimicamente com o reagente Behara modificado entre 20 e 60 segundos e registrados por meio de microscopia ótica (MO). Geralmente, em aços inoxidáveis e outros, este reagente colore a ferrita com uma cor diferenciada (azul), a austenita ou cementita de amarelo e a martensita de marrom. Todavia, por se tratar de um aço de alta dureza, com composição diferenciada, esta coloração pode ou não coincidir com as determinadas fases [10]. As imagens foram analisadas e tratadas com o programa ImageJ, o qual permitiu quantificar o percentual de ferrita. Este programa, obtido gratuitamente pela internet, possui ferramentas que manipulam a coloração de forma que as configurações auxiliam na quantificação das fases.

## 2.3 Resultados e discussão

As amostras 1, 2 e 3 foram revenidas em 310°C, 425°C e 610°C por 1h. Na Figura 1 são apresentas as amostras após o ataque com o reagente Behara modificado.



**Figura 1.** Fotomicrografia do aço HHA após o ataque com o reagente Behara modificado. Em (a) amostra revenida em 310°C, (b) em 425°C e (c) 610°C, por 1 hora.

Na Figura 1 são apresentadas algumas amostras que foram atacadas metalograficamente com o reagente Behara modificado. Nota-se que as agulhas de martensita revenida aparecem bem definidas. Como a ferrita apresenta uma coloração diferenciada, a cor azulada foi considerada como tal. Para a quantificação média de ferrita, foram utilizadas 5 imagens de regiões diferenciadas. Por meio dos recursos presentes no programa ImageJ, o qual permite tratar a imagem com 8-bit, foi possível realizar uma quantificação do percentual médio de ferrita, conforme apresentado na Tabela 3.

**Tabela 3.** Percentual médio de ferrita (%)

<b>Amostras</b>	<b>Percentual (%)</b>
1	NI*
2	NI*
3	2,437

\*NI – Não identificado.

Os resultados apresentados na Tabela 3 mostram que, se existe algum percentual de ferrita nas amostras 1 e 2, este é inferior ao que se pode perceber por meio de ataques metalográficos, diferente da amostra 3.

De acordo com a teoria para aços Fe-C, tem-se estágios de revenido bem característicos, onde entre 200 e 300°C, se houver alguma austenita retida, esta pode se converter no microconstituente denominado bainita (ferrita e cementita). Entre 200 a 350°C, a cementita gerada pode precipitar na forma de barras e iniciar seu crescimento. Já em temperaturas acima de 400°C, a cementita pode coalescer e a ferrita, assumir o contorno das ripas martensíticas [11, 12]. Considerando tais informações, é sugerido que no revenido em 610°C, o surgimento da ferrita é coerente.

### 3 CONCLUSÃO

De acordo com os percentuais médios calculados e a revisão da literatura, tanto o surgimento da ferrita quanto o seu percentual são coerentes. Todavia, como não foi possível identificar as quantidades nas amostras 1 e 2, possivelmente, a utilização de outra técnica, agregada a esta, poderia atribuir uma maior confiabilidade.

### Agradecimentos

Os autores agradecem ao Exército brasileiro, às agências financeiras nacionais (CNPq, CAPES e FAPERJ) por patrocinar esta pesquisa e à empresa Temperaçõ pelo tratamento térmico.

### REFERÊNCIAS

- 1 Oliveira SDS, Souza ER, Weber RP, Miguez Suarez JC. Caracterização de um aço de alta dureza, após o ensaio balístico com o projétil 7,62 PF\*, 2015. Anais do 70° Congresso Anual da ABM. ISSN 1516-392X.
- 2 Souza, Elson Renato Santos. Estudo do comportamento microestrutural e balístico de um aço de blindagem após soldagem. 2014. 184p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Materiais) – Instituto Militar de Engenharia, 2014.

- 3 Manganello SJ, Abbott KH. Metallurgical factors affecting the ballistic behavior of steel targets, J. Materials, 7 (1972) 231-239.
- 4 Crouch I, Cimpoeru SJ, Li H., Shanmugan D, (Ed.). The Science of Armour Materials. Woodhead Publishing, 2017, cap.2, p. 55-115.
- 5 Papetti DJ. Metallic armor materials. In: Ballistic materials and penetration mechanics, R.C. Laible (Ed). Amsterdam: Elsevier Scientific Publishing Co.,1980. Chapter 7, p.148-162.
- 6 United State Department of army. Norma MIL-DTL-46100E (MR), Amendment 1, Detail Specification Armor Plate, Steel, Wrought, High Hardness, 2008.
- 7 Jena PK, Siva Kumar K, Krishna VR, Singh AK, Balakrishna B, Studies on the role of microstructure on performance of a high strength armour steel, Engineering Failure Analysis, Vol 15, Issue 8 (2008), p. 1088-1096.
- 8 Colpaert, H, Metalografia dos Produtos Siderúrgicos Comuns/ Hubertus Colpaert; Revisão Técnica André Luiz V. da Costa e Silva. – 4ª ed – São Paulo: Blucher, 2008.
- 9 Anazawa RM, Abdalla AJ, Hashimoto TM, Pereira MS, Estudo das propriedades mecânicas do aço 300M devido à utilização de retífica após tratamentos térmicos isotérmicos e intercíticos. Associação Brasileira de Engenharia e Ciências Mecânicas. 6º Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação (2011).
- 10 American Society for Testing and materials, Norma E-3 - Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens, 2011.
- 11 Vander Voort GF, Metallography, principles and practice. McGraw-Hill, 4ed, (2007).
- 12 Chiaverini V. Aços - Carbono e Aços - Liga, Edição da Associação Brasileira de Metais (ABM) São Paulo, 1971.
- 13 Silva, ALV. da Costa e, Aços e ligas especiais/ André Luiz V. da Costa e Silva; Paulo Roberto Mei – 3ª ed. – São Paulo: Blucher, 2010.