

INFLUÊNCIA DA TÊMPERA INTERCRÍTICA E REVENIMENTO NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE UM AÇO MÉDIO-CARBONO¹

*Juliane Ellem Brito da Costa²
Claudio Geraldo Guimarães³
Cláudio Alves de Siqueira Filho⁴
André Luiz de Moraes Costa⁵*

Resumo

Neste trabalho investigaram-se os efeitos do tratamento térmico de têmpera intercrítica seguida de revenimento sobre o aço médio-carbono SI 50, fabricado no pólo siderúrgico de Marabá. A têmpera foi realizada através de dois caminhos de aquecimento até 760°C produzindo-se diferentes microestruturas bifásicas constituídas de ferrita e martensita. O revenimento posterior foi realizado a 110°C por 30, 60 e 90 minutos e proporcionou uma variação da dureza atribuída à precipitação da cementita e algumas variáveis experimentais.

Palavras-chave: Aço bifásico; Têmpera intercrítica; Revenimento; SI 50.

INFLUENCE OF INTERCRITICAL QUENCHING AND TEMPERING ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF A MEDIUM-CARBON STEEL

Abstract

In this work the effects of intercritical quenching and tempering on the microstructure and hardness of commercial medium-carbon steel were investigated. The quenching procedure used two heating paths up to 760°C for obtaining different dual-phase microstructures composed by ferrite and martensite phases. The posterior tempering was carried out at 110°C for 30, 60 and 90 minutes providing a deviation of hardness that was attributed to carbide precipitation and some experimental parameters.

Key words: Dual-phase steel; Intercritical quenching; Tempering; SI 50.

¹ *Contribuição técnica ao 64° Congresso Anual da ABM, 13 a 17 de julho de 2009, Belo Horizonte, MG, Brasil.*

² *Graduanda de Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Pará – Campus de Marabá.*

³ *Graduando de Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Pará – Campus de Marabá.*

⁴ *Dr., Professor Adjunto, Faculdade de Engenharia de Materiais, UFPA – Campus de Marabá.*

⁵ *Dr., Professor Adjunto, Faculdade de Engenharia de Materiais, UFPA – Campus de Marabá.*

1 INTRODUÇÃO

As propriedades mecânicas dos aços dependem da sua microestrutura e os tratamentos térmicos possuem a capacidade de modificar estas microestruturas dos aços, resultando assim na alteração em maior ou menor grau de suas propriedades.⁽¹⁾ Tratamentos intercríticos possibilitam a formação de aços com diferentes fases e morfologias, onde a composição entre os diferentes microconstituintes torna-se fator decisivo para as propriedades mecânicas finais do material.

Para aços de alto e médio carbono que apresentam também elementos de liga, os tratamentos térmicos têm muita importância, pois estes materiais são usados em trabalhos a quente e, por conta disto, devem passar por tratamentos previamente ao seu uso. Um dos tratamentos mais usuais na produção de componentes de resistência relativamente alta é a têmpera. Porém, em consequência da têmpera diminuem a resistência ao choque, o alongamento, a estrição e a ductilidade.⁽²⁾

O tratamento térmico de Têmpera Intercrítica consiste na austenização parcial, na região que se denomina intercrítica no diagrama Fe-C, onde as fases de ferrita e austenita coexistem. Nesta região a austenita está enriquecida de carbono, suficiente para ser transformada em martensita com resfriamento rápido. Em aços comuns este tipo tratamento de baixo custo e de processo simples possibilita alcançar altos valores de resistência à tração e fadiga. O revenido normalmente é realizado após a têmpera para aliviar ou remover as tensões internas, corrigindo as excessivas dureza e fragilidade do material, aumentando sua ductilidade e resistência ao choque.⁽³⁾

Neste trabalho o tratamento de têmpera intercrítica seguido de revenimento foi aplicado em um aço médio-carbono produzido no pólo siderúrgico de Marabá – PA pela usina integrada SINOBRAS para a indústria da construção civil. Por ser um aço com médio teor de carbono, o material é resistente, mas apresenta baixa ductilidade e tenacidade. Desta forma, a motivação do trabalho é obter um aço que combine propriedades de dureza e ductilidade, ou seja, um aço bifásico martensita-ferrita, cuja estrutura consiste em uma dispersão de martensita dura em uma matriz dúctil de ferrita, e que possua melhores características mecânicas quando comparado ao mesmo aço carbono com estrutura comum.⁽⁴⁾

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.2 Tratamentos Térmicos

A composição química do aço estudado neste trabalho foi determinada por espectroscopia de absorção atômica na empresa Sinobras. Os resultados da análise estão descritos na Tabela 1.

Uma barra de 12,5mm de diâmetro foi cortada em amostras de aproximadamente 100mm de comprimento. As amostras foram tratadas termicamente usando um pequeno forno tipo mufla como mostrado esquematicamente nas Figuras 1 e 2 e descritos abaixo:

- **Condição A:** Aquecimento a 800°C por 10 minutos, seguido de resfriamento até a temperatura de 760°C, mantido por 20 minutos e resfriado rápido em água.

Tabela 1. Composição química do aço SI 50

ELEMENTOS	% EM MASSA
C	0,44
Si	0,29
Mn	1,17
P	0,022
S	0,006
Cr	0,07
Mo	0,01
Ni	0,05
V	0,024
Cu	0,13
Ni	0,007

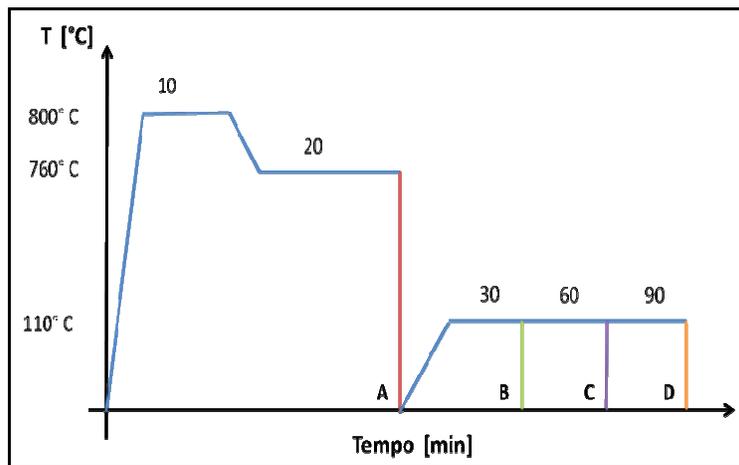


Figura 1: Desenho esquemático do procedimento de Têmpera I seguido de revenimento.

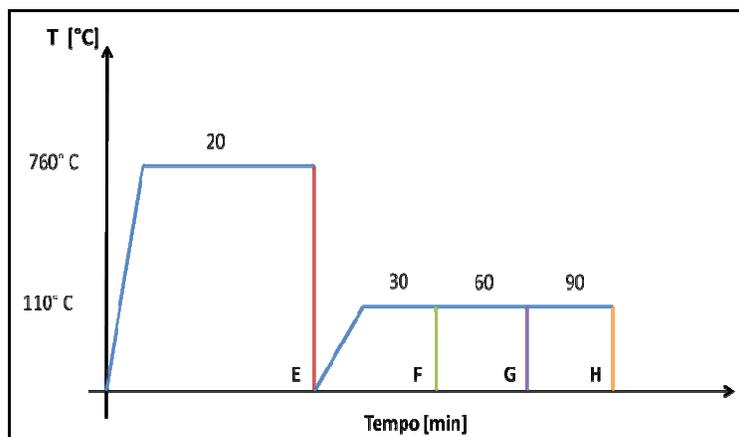


Figura 2: Desenho esquemático do procedimento de Têmpera II seguido de revenimento.

- **Condição B:** Aquecimento a 800°C por 10 minutos, seguido de resfriamento até a temperatura de 760°C mantido por 20 minutos, e resfriado rápido em água, transferido para um forno na temperatura de 110°C mantido 30 minutos e resfriamento lento no forno.

- **Condição C:** Aquecimento a 800°C por 10 minutos, seguido de resfriamento até a temperatura de 760°C mantido por 20 minutos, e resfriado rápido em água, transferido para um forno na temperatura de 110°C mantido 60 minutos e resfriamento lento no forno.
- **Condição D:** Aquecimento a 800°C por 10 minutos, seguido de resfriamento até a temperatura de 760°C mantido por 20 minutos, e resfriado rápido em água, transferido para um forno na temperatura de 110°C mantido 90 minutos e resfriamento lento no forno.
- **Condição E:** Aquecimento a 760 °C mantido por 20 minutos e resfriamento rápido em água.
- **Condição F:** Aquecimento a 760 °C mantido por 20 minutos e resfriamento rápido em água, transferido para um forno na temperatura de 110°C mantido 30 minutos e resfriamento lento no forno.
- **Condição G:** Aquecimento a 760 °C mantido por 20 minutos e resfriamento rápido em água, transferido para um forno na temperatura de 110°C mantido 60 minutos e resfriamento lento no forno.
- **Condição H:** Aquecimento a 760 °C mantido por 20 minutos e resfriamento rápido em água, transferido para um forno na temperatura de 110°C mantido 90 minutos e resfriamento lento no forno.

2.2 Análise Microestrutural

Após os tratamentos térmicos os corpos-de-prova foram seccionados, embutidos a quente, lixados com o auxílio de uma lixadeira fixa manual com lixas d'água de carbeto de silício seguido de polimento com pasta de diamante. As superfícies foram atacadas quimicamente com Nital 1%.

Posteriormente as amostras foram analisadas por microscopia óptica usando um microscópio Olympus equipado com câmera digital e software para análises de imagens.

2.3 Medidas de Microdureza

Foram realizados testes de microdureza Vickers em um microdurômetro TimeGroup MHV 200 com carga de 1 Kgf e tempo de indentação de 10 segundos. Os valores apresentados representam a média e o desvio padrão de 12 medições como mostrado na Figura 3.

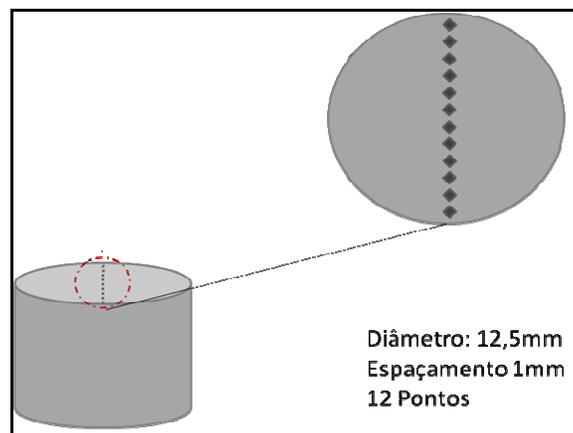


Figura 3: Desenho esquemático do Ensaio de Microdureza Vickers.

3 RESULTADOS

3.1 Ensaios de Microdureza Vickers

A Tabela 2 apresenta os valores médios e o desvio padrão de microdureza obtidos para cada amostra estudada.

Tabela 2: Médias e Desvios Padrões dos Ensaios de Microdureza Vickers

Amostras	Media [Kgf/mm ²]	Desvio Padrão	Amostras	Media [Kgf/mm ²]	Desvio Padrão
Têmpera I	467,4	46,5	Têmpera II	402,5	42,8
Têmpera I Revenido 30 min	456,2	59,9	Têmpera II Revenido 30 min	364,4	32,9
Têmpera I Revenido 60 min	482,8	58,0	Têmpera II Revenido 60 min	374,1	38,8
Têmpera I Revenido 90 min	360,9	23,6	Têmpera II Revenido 90 min	457,3	82,5

As curvas presentes nas Figuras 4 e 5 mostram os perfis de microdureza ao longo do diâmetro da amostra. As Figuras 6 e 7 mostram micrografias óticas das amostras nas condições como-recebida e após os diferentes tratamentos térmicos.

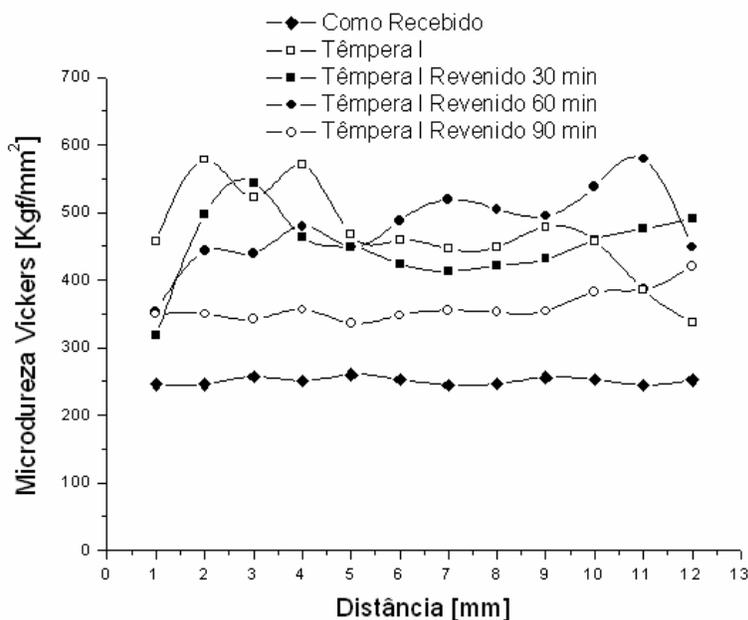


Figura 4: Curvas do perfil de Microdureza Vickers, para os tratamentos de Têmpera I.

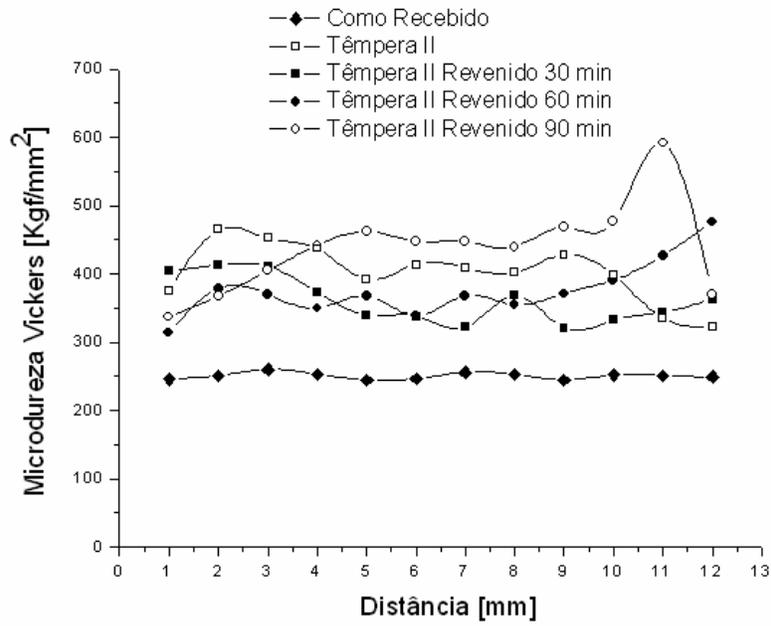


Figura 5: Curvas do perfil de Microdureza Vickers, para os tratamentos de Têmpera II.

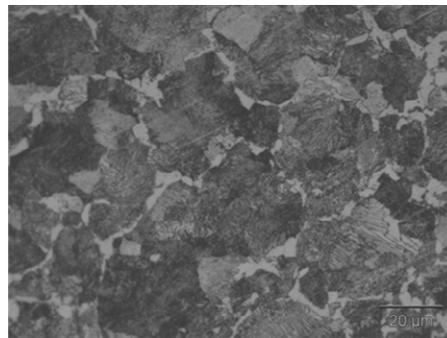


Figura 6: Microestrutura da amostra como recebida, ataque Nital 1%.

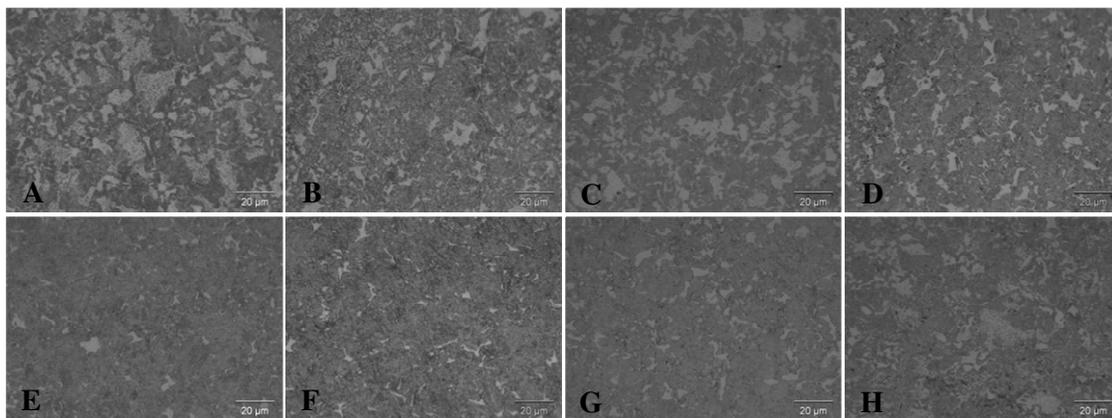


Figura 7: Microestruturas de amostras submetidas aos tratamentos térmicos intercrítico a 760°C, sendo: A, B, C e D Têmpera I; E, F, G e H Têmpera II; B e F, C e G, D e H com revenimentos a 110°C de 30, 60 e 90 minutos respectivamente.

4 DISCUSSÃO

Os ensaios de microdureza Vickers mostrados nas Figuras 4 e 5 confirmam que a microdureza da amostra como recebida pode ser melhorada através dos tratamentos térmicos. Nos tratamentos térmicos de Têmpera II onde o tratamento foi realizado a partir da fase austenítica (Figura 5) todas as amostras apresentaram uma microdureza superficial mais baixa, isso se explica devido uma descarbonetação das superfícies em temperaturas altas e ambiente oxigenado, observada na microscopia ótica. Observa-se ainda que a amostra temperada apresenta uma maior microdureza quando comparada com as amostras revenidas por 30 minutos e 60 minutos, enquanto que a amostra revenida por 90 minutos tem maior microdureza. Além disso, a microdureza parece aumentar com o tempo de revenimento. Acredita-se que a queda inicial da microdureza no revenimento deve-se ao alívio de tensões enquanto o posterior aumento deve-se ao início da precipitação de cementita.

Os aumentos perceptíveis nos finais dos perfis de microdureza na Figura 5, para o caso das amostras revenidas, devem-se ao fato dos intervalos das indentações não coincidirem com a faixa descarbonetada da outra extremidade.

As curvas dos perfis de microdureza para os tratamentos de Têmpera I (Figura 4) mostram uma ligeira queda da microdureza após revenimento por 30 minutos, seguido de aumento da microdureza após 60 minutos de revenimento e depois uma queda acentuada na dureza após 90 minutos de revenimento.

A microestrutura do material como-recebido é típica de normalização com grãos de perlita fina circundados por ferrita pró-eutetóide. Na Figura 7 observa-se que os tratamentos de têmpera intercrítica produziram um aço bifásico com duas fases distintas ferrita (clara) mais martensita (escura). Na Têmpera I se formou maior quantidade de ferrita quando comparada a Têmpera II. Na Têmpera I, durante o resfriamento até 760°C a ferrita vai sendo formada a partir da austenita, enquanto na Têmpera II durante o aquecimento até 760°C ocorre a dissolução da perlita e da ferrita em austenita. Assim, a austenita obtida na Tempera I é mais rica em carbono e gera uma martensita mais dura, como evidenciado nos ensaios de microdureza. A variação microestrutural da martensita devido ao revenimento não foi discernível ao microscópio ótico.

5 CONCLUSÃO

Os tratamentos térmicos de têmpera intercrítica foram realizados com relativo sucesso, obtendo-se um aço bifásico. O tratamento de Têmpera I gerou uma martensita mais dura. Os tratamentos de revenimento mostraram uma variação de dureza que pode estar associada à precipitação de carbeto muito finos na matriz martensítica.

Agradecimentos

Os autores agradecem a empresa SINOBRAS pelo envio de material.

REFERÊNCIAS

- 1 CHIAVERINI, V. Aços e Ferros Fundidos. 7 ed., Associação Brasileira de Metais, 2005.
- 2 COLPAERT, H. Metalografia dos produtos siderúrgicos comuns. 3.ed. São Paulo: Edgard Blücher.1983. 412p.
- 3 TAVARES, S. S; M. PEDROZA, P. D; TEODÓSIO, J. R. e GUROVA, T. “Mechanical properties of a quenched and tempered dual phase steel”, Scripta Materialia, v. 40, n. 8, p. 887-892, 1999.
- 4 PEREIRA, M. S. Efeito do revenimento da martensita sobre o comportamento em fadiga de um aço bifásico,43, Dissertação (Mestrado – Engenharia Mecânica), Faculdade de Engenharia – Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista.1992. 135p.