

## ESTUDO COMPARATIVO DO TRATAMENTO TÉRMICO INTERCRÍTICO NO AÇO SAE 8620 EM TRÊS TEMPOS DISTINTOS\*

Isaque Alan de Brito Moura<sup>1</sup>  
Jose Aldery Nogueira Júnior<sup>1</sup>  
Lucas Rodrigues Coelho<sup>1</sup>  
Silvia Beatriz Fonteles de Souza<sup>2</sup>  
Marcelo José Gomes da Silva<sup>3</sup>

### Resumo

Para o estudo da evolução microestrutural de um aço SAE 8620 tratado termicamente a uma temperatura de 740°C – sua zona intercrítica - foram produzidas 4 amostras e realizados 3 tratamentos térmicos com durações distintas – 30 minutos, 2 horas e 6 horas –, seguidos de resfriamento em água. As amostras foram caracterizadas utilizando microscopia ótica e teste de microdureza a fim de comparar suas estruturas e propriedades mecânicas de dureza. O tratamento de 30 minutos permitiu a decomposição da fase martensítica prévia, diminuindo a dureza da amostra. Houve austenitização completa da fase  $\beta$  na amostra tratada por 2 horas, produzindo uma têmpera bem-sucedida. Descarbonetação ocorreu na amostra tratada por 6 horas, que apresentou uma microestrutura de matriz ferrítica com pequenas ilhas de martensita. Concluiu-se que um tratamento intercrítico de 2 horas seguido de têmpera em um aço SAE 8620 gera microestrutura de ferrita e martensita e que o tratamento de 6 horas em atmosfera não controlada, pode gerar descarbonetação.

**Palavras-chave:** Aço SAE 8620; Tratamento intercrítico; Têmpera; Microestrutura

## COMPARATIVE STUDY OF AN INTERCRITICAL HEAT TREATMENT ON A SAE 8620 STEEL AT THREE DISTINCT DURATIONS

### Abstract

To study the microstructure evolution of a SAE 8620 steel heat treated at 740°C, its intercritical zone, 4 samples were produced and 3 heat treatments of distinct durations, 30 minutes, 2 hours, and 6 hours, were realized, followed by water quenching. The samples were characterized, using light microscopy and microhardness testing, aiming to compare their microstructures and their hardness properties. The martensite in the sample treated for 30 minutes underwent a decomposition, decreasing its hardness. There was a complete austenitization of the  $\beta$  phase on the sample treated for 2 hours producing a well succeeded hardening. Decarburization occurred on the sample treated with 6 hours, which showed a microstructure of ferritic matrix with martensite isles. It was concluded that the 2-hour intercritical heat treatment followed by quench generates a microstructure of ferrite and martensite on a SAE 8620 steel, and that the 6-hours heat treatment can result in decarburizing.

**Keywords:** SAE 8620 steel; Intercritical heat treatment; Quench; Microstructure

<sup>1</sup> Graduando em Engenharia Metalúrgica, estudante, Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza-CE, Brasil.

<sup>2</sup> Graduando em Engenharia Civil, estudante, Departamento de Engenharia Estrutural e Construção Civil, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza-CE, Brasil.

<sup>3</sup> Engenharia Metalúrgica, Doutor, Professor, Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza-CE, Brasil.

## 1 INTRODUÇÃO

Esse trabalho tem como objetivo investigar a evolução microestrutural de um aço SAE 8620 tratado termicamente na sua zona intercrítica a fim de analisar as mudanças que esse tratamento ocasionou na dureza e na morfologia do material. Pesquisas anteriores já demonstraram que austenitização intercrítica e têmpera de aços SAE 8620 produzem aços com características semelhantes às das ligas TRIP e Dual-Phase [1]. Portanto, a análise dessa microestrutura é interessante para o conhecimento do resultado dos tratamentos térmicos contidos nesse trabalho.

Também, os conhecimentos de caracterização microestrutural e tratamento térmico das ligas metálicas são indispensáveis para que seja possível identificar tais mudanças, relacionando as interações esperadas segundo a literatura com as encontradas na prática. Dessa forma, é demonstrada a análise de microestruturas, especificamente do aço citado, mas semelhantes para outros aços, como uma base técnica para futuros estudantes que almejem conhecer mais sobre a análise microestrutural de aços.

### 1.1 Aço SAE 8620

Os aços SAE 8620 são aços ligados ao Níquel, Cromo e Molibdênio, de composição química apresentada na tabela 1.

**Tabela 1.** Composição química de um SAE 8620 (% em massa)

C	Mn	P (max)	S (max)	Si	Ni	Cr	Mo
0,18-0,23	0,70-0,90	0,035	0,040	0,15-0,35	0,40-0,70	0,40-0,60	0,15-0,25

Fonte: Machinery's Handbook 27<sup>th</sup> Edition; 2004. p. 447.

Utilizado na construção mecânica de peças que necessitam de resistência a abrasão e boa resistência a fadiga e a choques, é um aço de média temperabilidade, boa usinabilidade e soldabilidade, e média resistência mecânica. É frequentemente usado em cementação, no caso onde a dureza superficial pode chegar a 62 HRc [2].

### 1.2 Tratamento Intercrítico

Dá-se o nome de tratamento intercrítico, o tratamento que é realizado aquecendo o aço a uma temperatura que está dentro da zona onde austenita e ferrita coexistem. Essa zona se encontra acima da linha  $A_1$ , que delimita a transformação eutetóide, e abaixo da linha  $A_3$  do diagrama de fases dos aços [3]. Nessa temperatura ocorre a austenitização parcial do material dado o tempo necessário para a transformação, que varia com o aumento da temperatura acima da linha  $A_c1$  [3]. O objetivo de um tratamento intercrítico é o de produzir uma matriz ferrítica com ilhas de martensita através de têmpera ou matriz ferrítica com bainita através de austêmpera.

### 1.3 Têmpera

A têmpera consiste em resfriar um aço em meio de grande capacidade de resfriamento, como a água ou óleo, objetivando produzir o constituinte martensita, resultado da transformação adifusional da austenita, que possui grande dureza e

resistência mecânica [4]. A temperabilidade dos aços é a característica que define quanto facilmente o material irá transformar a austenita em martensita [4].

## 1.4 Thermo-Calc

Thermo-Calc foi o software de cálculo termodinâmico utilizado para avaliar o diagrama de fases específico do aço estudado através de sua composição química. O programa usa bancos de dados para basear os cálculos de fases estáveis e metaestáveis do material [5].

## 1.5 Descarbonetação

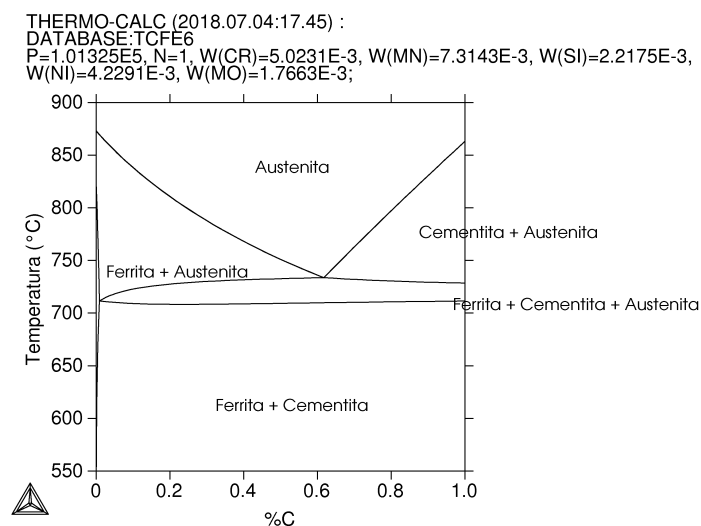
A presença de  $CO_2$  e  $H_2O$  na atmosfera de um forno são os principais agentes descarbonetantes quando se trata de um tratamento com temperaturas elevadas [6]. Esse fenômeno é regido pelas equações 1 e 2:



Quando uma atmosfera descarbonetante está presente, o equilíbrio entre o potencial de carbono da superfície do metal e o potencial de carbono da atmosfera é deslocado no sentido da formação de CO, dessa forma retirando o carbono do aço [6].

## 2 DESENVOLVIMENTO

### 3.1 Materiais e Métodos



**Figura 1.** Diagrama de fases do aço estudado. Fonte: Thermo-Calc.

Foram feitos 3 cortes na secção transversal do material para produzir 4 amostras cilíndricas com 10,6 mm de altura e 25,2 mm de diâmetro. Uma máquina de corte do tipo cut-off com refrigeração líquida foi utilizada para garantir a integridade

microestrutural das amostras. Pelo histórico do material não ser conhecido, uma das amostras foi separada para análise como recebida (CR) e as outras, para tratamento em forno tipo mufla. A análise química da amostra CR, mostrada na Tabela 2, foi realizada utilizando espectrômetro de emissão óptica da Shimadzu modelo PDA-7000. Por ser um aço ligado e o tratamento térmico intercrítico ser altamente dependente da temperatura  $A_{c1}$  de seu diagrama de fases, a utilização do Thermo-Calc se mostrou indispensável para que a temperatura da zona intercrítica fosse conhecida. O diagrama Fe-C do aço foi então calculado de acordo com a análise química. O diagrama é mostrado na Figura 1.

**Tabela 2.** Análise química via espectrometria de emissão óptica (% em massa)

C	Mn	P	S	Si	Ni	Cr	Mo
0,21	0,73	0,014	0,022	0,22	0,42	0,50	0,18

### 2.1.1 Tratamentos térmicos

As 3 amostras foram tratadas com tempos de tratamento diferentes. Foram utilizados tempos de 30 minutos, 2 horas e 6 horas. Utilizando o diagrama calculado para o aço foi escolhida a temperatura de 740°C para o tratamento. As três amostras foram tratadas ao mesmo tempo, sendo cada uma retirada do forno de acordo com o tempo objetivado e resfriada em água até a temperatura ambiente.

### 2.1.2 Caracterização

Foi utilizado lixamento e polimento manual, seguindo a sequência recomendada para amostras em geral na literatura [7]. Por se tratar de um aço que se supõem ter dureza extremamente alta, nenhum procedimento especial foi requerido, apenas sendo necessário o lixamento com lixas de carbetto de silício (SiC) com granulometria de 100, 220, 320, 400 e 600 mesh, polimento grosso utilizando alumina ( $Al_2O_3$ ) de granulometria 1  $\mu m$  e polimento fino com alumina de granulometria de 0,05  $\mu m$ . Cada amostra foi atacada com Nital 2% durante 6 segundos e levada para um microscópio ótico Zeiss Axio Imager.M2 para análise.

### 2.1.3 Análise de dureza

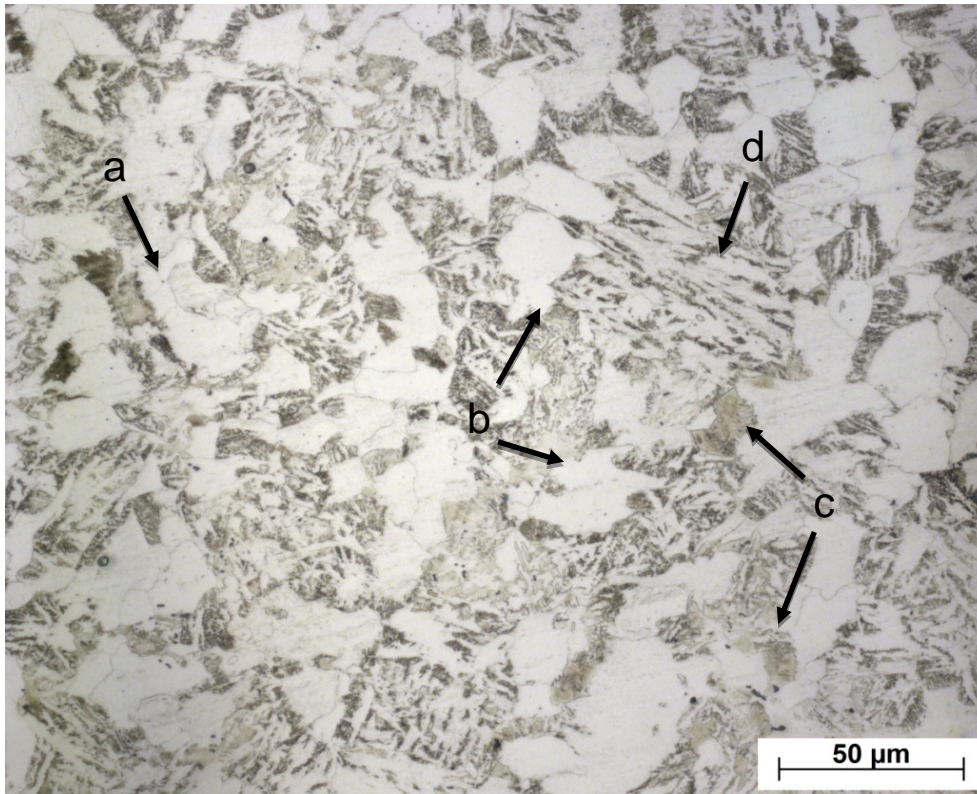
Foi feita também microdureza por indentação estática usando um microdurômetro vickers da Shimadzu modelo HMV-2. A carga utilizada foi de 9,807 N. As amostras foram analisadas em 5 pontos cada, escolhidos aleatoriamente, em suas superfícies tratadas e atacadas. Uma análise linear de dureza não foi realizada pelo fato de ser esperada uma dureza uniforme sobre toda a superfície tratada.

## 2.2 Resultados e Discussão

Uma análise da microestrutura da amostra CR (Figura 2) evidencia a presença de uma estrutura fora do esperado para um aço normalizado desse grau. A morfologia da perlita presente na amostra exibe sinais de resfriamento acelerado e de deformação a quente, com sua estrutura composta de perlita fina e irregular, com fraturas na cementita, evidenciadas pelas descontinuidades dos grãos de perlita [8]. É possível notar a nucleação de ferritas de Widmanstätten intergranular e de ferritas



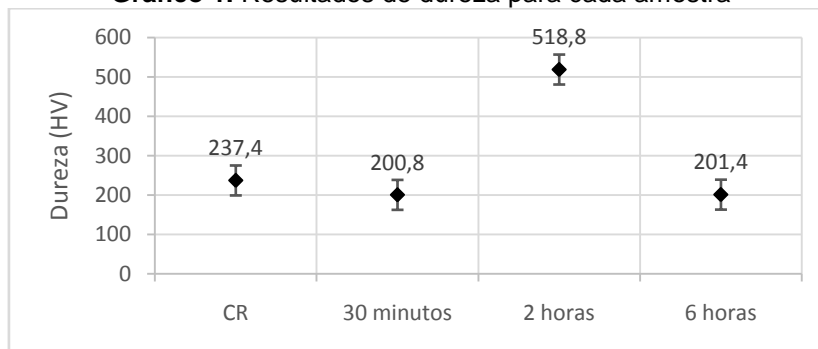
idiomórficas e alótriomórficas. Há também uma pequena presença de martensita distribuída na matriz ferrítica, indicando a temperabilidade do aço estudado.



**Figura 2.**SAE 8620 como recebido. Nas setas:a, Ferrita alótriomórfica; b, Ferritas idiomórficas; c, Martensita, e d: Ferrita intergranular. Magnificação de 500x. Ataque com Nital 2%.

A dureza da amostra se mostrou superior ao esperado para um aço normalizado, como mostra o Gráfico 1. O esperado para um aço desse grau, cuja normalização foi realizada é de aproximadamente 195 HV [9].

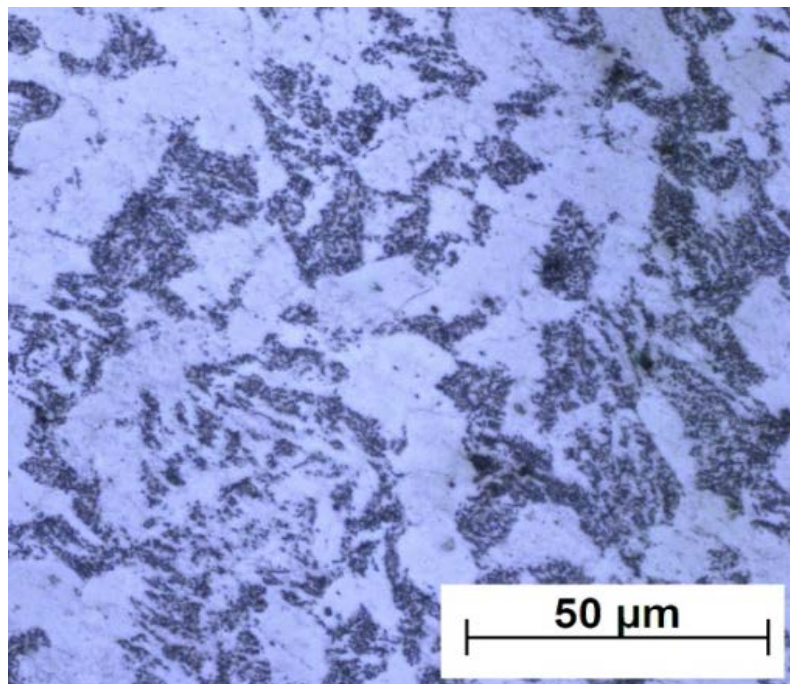
**Gráfico 1.** Resultados de dureza para cada amostra



Desvio padrão médio de 38,26.

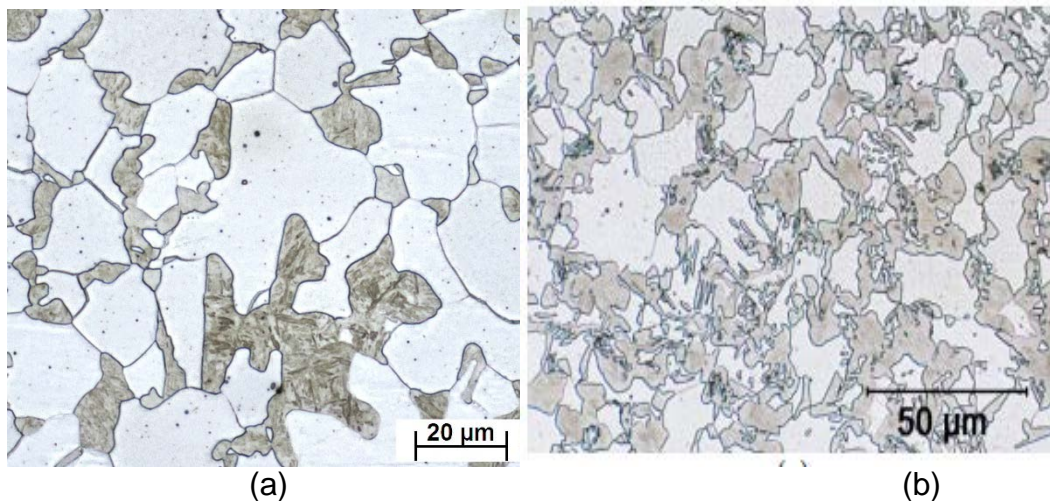
A microestrutura da amostra tratada por 30 minutos (Figura 3) exibe uma aglomeração da perlita em relação à da amostra CR. Aristizabal [1] aponta que o processo de austenitização de um aço na temperatura intercrítica consiste em 3 fases: A nucleação de grãos de austenita a partir do contorno de grão entre perlita e ferrita, o crescimento desses grãos em direção à perlita, região rica em carbono, e a difusão de carbono entre austenita e ferrita até que haja o equilíbrio descrito no diagrama de fases. A fase 1 do processo a uma temperatura de 740°C ou menor por

levar até 8 horas [1]. O tempo de 30 minutos foi insuficiente para completar a austenitização da perlita a essa temperatura e então a têmpera nessa amostra não foi bem-sucedida, produzindo um aço de dureza baixa (Gráfico 1).



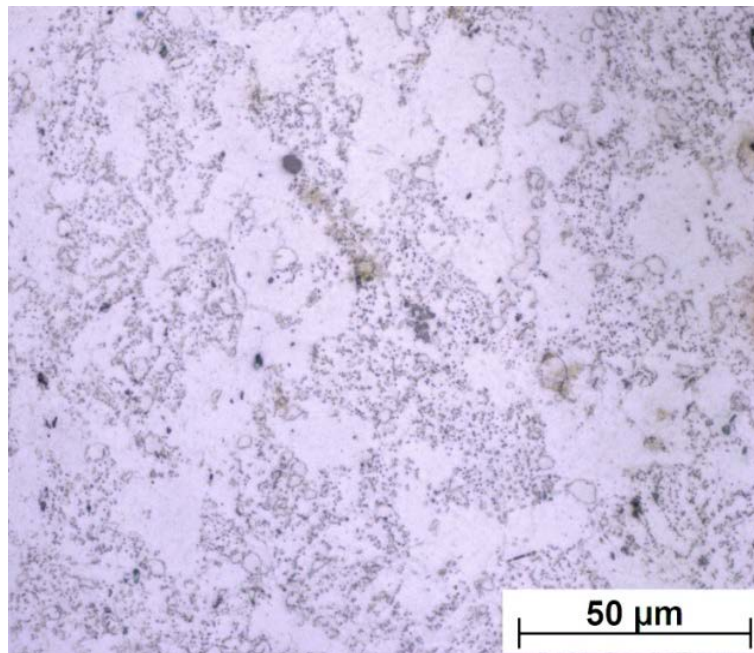
**Figura 3.** SAE 8620 tratado por 30 minutos a 740°C. Magnificação de 500x. Ataque com Nital 2%.

A amostra tratada por 2 horas sofreu transformação significativa na sua microestrutura. A micrografia mostra que houve a austenitização completa da perlita e que a têmpera foi bem-sucedida, gerando martensita numa matriz ferrítica. Aristizabal mostra que um aço 8620 tratado a 740°C por 3 horas e depois temperado irá formar uma microestrutura composta de ferrita e martensita semelhante à obtida com tratamento de 2 horas. A figura 4 mostra a micrografia obtida por Aristizabal e a obtida nesse trabalho. Em relação à microdureza, houve um aumento expressivo da propriedade na amostra tratada por 2 horas, evidenciando os benefícios do tratamento intercrítico para as propriedades do aço SAE 8620.





**Figura 4.** Comparação entre a microestrutura obtida no trabalho e a literatura. (a)SAE 8620 tratado por 2 horas a 740°C. Magnificação de 500x. Ataque com Nital 2%. (b) SAE 8620 tratado por 3 horas a 740°C. Ataque com Nital 3%.Fonte:Aristizabal RE. Intercritical heat treatments in ductile iron and steel



**Figura 6.**SAE 8620 tratado por 6 horas a 740°C. Magnificação de 500x. Ataque com Nital 2%.

Na amostra tratada por 6 horas (Figura 6) foi observada uma microestrutura bastante fina, com uma vasta matriz ferrítica e pequenas ilhas de martensita. O tratamento de 2 horas mostrou que houve uma austenitização completa da perlita inicial. Dessa forma, a austenita na superfície da amostra tratada por 6 horas teve tempo suficiente para que ocorresse descarbonetação relevante. Para comprovar essa ocorrência, foi realizada outra análise de composição química (Tabela 3).

**Tabela 3.**Análise química da amostra tratada por 6 horas via espectrometria de emissão óptica

C	Mn	P	S	Si	Ni	Cr	Mo
0,17	0,75	0,014	0,021	0,22	0,42	0,51	0,18

A análise mostra uma diferença de -0,04 em % de massa em comparação com a análise realizada na amostra sem tratamento.

A presença de CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>O, na forma de umidade, agiram como descarbonetantes, propiciando um aumento na fração de ferrita da amostra [6]. Acredita-se que o principal agente descarbonetante foi o H<sub>2</sub>O presente no ar devido a metodologia utilizada, na qual o forno foi aberto 2 vezes, renovando o ar no seu interior. A análise de microdureza da amostra obteve valores comparáveis ao da amostra tratada por 30 minutos, sendo 201,4 HV.

### 3 CONCLUSÃO

O tempo de tratamento térmico intercrítico requisita atenção primordial para que seja possível proporcionar os estímulos termodinâmicos necessários para a austenitização objetivada para que ocorra um ganho na propriedade de dureza do aço.

O tempo de 30 minutos a 740°C não foi suficiente para a austenitização completa da perlita presente em um SAE 8620.

O tratamento de 2 horas foi suficiente para produzir uma microestrutura composta de ferrita e martensita após a têmpera em água, assim como elevar a dureza do mesmo aço.

Um tratamento de 6 horas nessas condições, entretanto, ocasiona leve decarbonetação e aumento da fração de ferrita na amostra, reduzindo a dureza para patamares do aço recozido.

### **Agradecimentos**

Ao Profs. Dr. PhD Marcelo José Gomes da Silva e ao Prof. Dr. Cleiton Carvalho Silva, ao Laboratório de Caracterização de Materiais – LACAM, ao Laboratório de Pesquisa e Tecnologia em Soldagem - LPTS e ao Laboratório de Pesquisa em Corrosão - LPC pelo fornecimento dos equipamentos necessários para a realização deste trabalho.

### **REFERÊNCIAS**

- 1 Aristizabal RE, Haglund AV, Druschitz AP, Ostrander M. Intercritically austempered steel. AISTech 2010 Proceedings: Association for Iron and Steel Technology. 2010.
- 2 Marquezi SL, Ceccatto SL. A usinabilidade nos aços para cementação SAE 8620 e DIN 20MnCr5. Unoesc & Ciência – ACET, Joaçaba, v. 3, n. 1, 2011; p. 91-108.
- 3 Aristizabal RE. Intercritical heat treatments in ductile iron and steel [tese de doutorado]. Birmingham: University of Alabama; 2012.
- 4 Chiaverini V. Tratamentos térmicos das ligas metálicas. São Paulo, SP: ABM; 2003.
- 5 Thermo-Calc Software [página da internet]. Sweden, [acesso em 17 jul. 2018]. Disponível em: <http://www.thermocalc.com/products-services/software/thermo-calc/>.
- 6 Karabelchtchikova O. Fundamentals of Mass Transfer in Gas Carburizing [dissertação de mestrado]. Worcester: Worcester Polytechnic Institute; 2007.
- 7 VANDER VOORT, George F. Metallography: principles and practice. New York: McGraw-Hill, 1984.
- 8 Wang M, Zhang F, Yang Z. Effects of high-temperature deformation and cooling process on the microstructure and mechanical properties of an ultrahigh-strength pearlite steel. Materials and Design 114. 2017; p. 102-110.
- 9 Oberg E, Jones FD, Horton HL, Ryffel HH. Machinery's Handbook 27<sup>th</sup> Edition. New York: Industrial Press Inc, 2004.