

**Franciele Bonatto  
Henrique Ajuz Holzmann  
João Dallamuta  
(Organizadores)**

# **Impactos das Tecnologias nas Engenharias 4**



**Franciele Bonatto  
Henrique Ajuz Holzmann  
João Dallamuta**  
(Organizadores)

# **Impactos das Tecnologias nas Engenharias**

**4**

**Atena Editora  
2019**

2019 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação e Edição de Arte: Lorena Prestes e Geraldo Alves

Revisão: Os autores

### Conselho Editorial

- Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília  
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista  
Profª Drª Deusilene Souza Vieira Dall’Acqua – Universidade Federal de Rondônia  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice  
Profª Drª Juliane Sant’Ana Bento – Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense  
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista  
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

#### Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

I34 Impactos das tecnologias nas engenharias 4 [recurso eletrônico] / Organizadores Franciele Bonatto, Henrique Ajuz Holzmann, João Dallamuta. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019. – (Impactos das Tecnologias nas Engenharias; v. 4)

Formato: PDF  
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader  
Modo de acesso: World Wide Web  
Inclui bibliografia  
ISBN 978-85-7247-194-7  
DOI 10.22533/at.ed.947191503

1. Engenharia. 2. Inovações tecnológicas. 3. Tecnologia.  
I. Bonatto, Franciele. II. Holzmann, Henrique Ajuz. III. Dallamuta, João.  
CDD 658.5

**Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422**

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores.

2019

Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)

## APRESENTAÇÃO

Caro leitor(a)

Nesta obra temos um compendio de pesquisas realizadas por alunos e professores atuantes em engenharia e tecnologia. São apresentados trabalhos teóricos e vários resultados práticos de diferentes formas de aplicação e abordagens de simulação, projetos e caracterização no âmbito da engenharia e aplicação de tecnologia.

Tecnologia é o pilar mais importante da engenharia. Os profissionais que se dedicam a pesquisa e desenvolvimento de novos produtos e processos não estão preocupados com todos os aspectos da tecnologia, mas com a tecnologia existente, bem como com a tecnologia futura considerada viável. Uma visão ampla de tecnologia é portanda fundamental para engenheiros. É esta amplitude de áreas e temas que procuramos reunir neste livro.

De abordagem objetiva, a obra se mostra de grande relevância para graduandos, alunos de pós-graduação, docentes e profissionais, apresentando temáticas e metodologias diversificadas, em situações reais

Aos autores, agradecemos pela confiança e espírito de parceria.

Boa leitura

Franciele Bonatto  
Henrique Ajuz Holzmann  
João Dallamuta

# Tecnologia e Engenharia em Foco

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
<b>ANÁLISE E DIMENSIONAMENTO TÉRMICO DO SISTEMA DE UM FREIO</b>	
<i>Franklin Lacerda de Araújo Fonseca Júnior</i> <i>David Domingos Soares da Silva</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.9471915031</b>	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>9</b>
<b>DETERMINAÇÃO E AVALIAÇÃO DA DUREZA E DA MICROESTRUTURA DO AÇO AISI 5160 NA CONDIÇÃO PADRÃO E ESFEROIDIZADO</b>	
<i>Anelise Pereira da Silva</i> <i>Suelen de Fátima Felisberto</i> <i>Amir Rivaroli Junior</i> <i>Cristina de Carvalho Ares Elisei</i> <i>Jorge Luiz Rosa</i> <i>Sérgio Roberto Montoro</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.9471915032</b>	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>17</b>
<b>INOVAÇÕES EM BROCA: UTILIZAÇÃO DE JATO DE ÁGUA COM ALTO CONTEÚDO ENERGÉTICO E ALARGADORES MECÂNICOS COMO PRINCÍPIO DE ESCAVAÇÃO</b>	
<i>Rafael Pacheco dos Santos</i> <i>Lidiani Cristina Pierri</i> <i>Jair José dos Passos Junior</i> <i>Anderson Moacir Pains</i> <i>Marcos Aurélio Marques Noronha</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.9471915033</b>	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>25</b>
<b>ESTUDO DE UM CONTROLADOR DE UM BRAÇO ROBÓTICO COM DOIS GRAUS DE LIBERDADE COM BASE EM LMI</b>	
<i>Márcio Roberto Covacic</i> <i>Ruberlei Gaino</i> <i>Cesar Capobianco</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.9471915034</b>	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>33</b>
<b>INFLUÊNCIA DA VARIAÇÃO DA POTÊNCIA DE SOLDAGEM NO PROCESSO DE SOLDAGEM A LASER NO AÇO BLAR</b>	
<i>Ana Paula Alves de Oliveira</i> <i>Francisco Cardoso de Melo Junior</i> <i>Amir Rivaroli Junior</i> <i>Emerson Augusto Raymundo</i> <i>João Maurício Godoy</i> <i>Marcelo Bergamini de Carvalho</i> <i>Sérgio Roberto Montoro</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.9471915035</b>	

<b>CAPÍTULO 6 .....</b>	<b>42</b>
<b>IMPLEMENTAÇÃO DE UMA TÉCNICA DE CONTROLE PREDITIVO NÃO LINEAR PRÁTICA NO ACIONAMENTO DE UM MOTOR CC</b>	
<i>Cleber Asmar Ganzaroli</i>	
<i>Douglas Freire de Carvalho</i>	
<i>Luiz Alberto do Couto</i>	
<i>Rafael Nunes Hidalgo Monteiro Dias</i>	
<i>Wesley Pacheco Calixto</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.9471915036</b>	
<b>CAPÍTULO 7 .....</b>	<b>55</b>
<b>IMPLEMENTAÇÃO DE SISTEMA DE PRESENÇA USANDO LEITOR CCD E CRIPTOGRAFIA NO MODELO DE CIFRA DE VIGÊNERE</b>	
<i>Éric Dias Souza</i>	
<i>Victor Francisco Rigolo Fernandes de Almeida</i>	
<i>Wagner dos Santos Clementino de Jesus</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.9471915037</b>	
<b>CAPÍTULO 8 .....</b>	<b>61</b>
<b>MODELAGEM DINÂMICA E CONTROLE PID DE MANIPULADORES ROBÓTICOS COM APLICAÇÃO NO ROBÔ DENSO VP6242G</b>	
<i>Leonardo Augusto Arruda</i>	
<i>Márcio Roberto Covacic</i>	
<i>Ruberlei Gaino</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.9471915038</b>	
<b>CAPÍTULO 9 .....</b>	<b>81</b>
<b>MODELAGEM CINEMÁTICA E SIMULAÇÃO 3D DO MANIPULADOR INDUSTRIAL DENSO VP6242G</b>	
<i>Giovani Augusto de Lima Freitas</i>	
<i>Márcio Roberto Covacic</i>	
<i>Ruberlei Gaino</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.9471915039</b>	
<b>CAPÍTULO 10 .....</b>	<b>103</b>
<b>PROGRAMAÇÃO LÓGICA INDUTIVA APLICADA À COMPUTAÇÃO MUSICAL: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA</b>	
<i>Clenio Batista Gonçalves Junior</i>	
<i>Murillo Rodrigo Petrucelli Homem</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.94719150310</b>	
<b>CAPÍTULO 11 .....</b>	<b>119</b>
<b>ANÁLISE DA MICROESTRUTURA DO FERRO FUNDIDO FC 250 SOB EFEITO DA CORROSÃO EM SOLUÇÃO ÁCIDA</b>	
<i>Lariane Ferreira Sena</i>	
<i>Rafaela Cunha dos Reis</i>	
<i>Aline Alcamin Monteiro</i>	
<i>Paula Luisa Silva</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.94719150311</b>	

**CAPÍTULO 12 ..... 130**

**SÍNTESE E CARACTERIZAÇÃO DE CÉRIA DOPADA COM GADOLÍNIA E CO-DOPADA COM ÓXIDO DE COBRE**

*Raquel Rodrigues do Nascimento Menezes  
Thamyscira Herminio Santos da Silva  
Allan Jedson Menezes de Araújo  
Erik Benigno Grisi de Araújo Fulgêncio  
Lizandra Fernanda Araújo Campos  
Ricardo Peixoto Suassuna Dutra  
Daniel Araújo de Macedo*

**DOI 10.22533/at.ed.94719150312**

**CAPÍTULO 13 ..... 146**

**CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA E MICROESTRUTURAL DE LIGAS CU-AL-MN PASSÍVEIS DO EFEITO MEMÓRIA DE FORMA ENVELHECIDAS**

*Marcos Barbosa Dos Anjos Filho  
Carlos Cássio de Alcântara  
José Joelson de Melo Santiago*

**DOI 10.22533/at.ed.94719150313**

**CAPÍTULO 14 ..... 153**

**INFLUÊNCIA DE DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DO ADITIVO DE CARBONO MICROGRAF® 9930MA NA CAPACIDADE C-20 DA PLACA NEGATIVA DE BATERIAS CHUMBO-ÁCIDO**

*Lucas Carvalho Santana  
André Castilho dos Santos  
Cynthia Mayara de Carvalho  
Gilberto Augusto de Oliveira Brito  
Christiano Jorge Gomes Pinheiro*

**DOI 10.22533/at.ed.94719150314**

**CAPÍTULO 15 ..... 162**

**DETERMINAÇÃO DE SÓLIDOS TOTAIS EM SUSPENSÃO NA ÁGUA PRODUZIDA: UMA ANÁLISE A PARTIR DE UMA PRÁTICA LABORATORIAL**

*Raul José Alves Felisardo  
Gabriela Menezes Silva  
César de Almeida Rodrigues*

**DOI 10.22533/at.ed.94719150315**

**CAPÍTULO 16 ..... 168**

**ADSORÇÃO DO CORANTE AZUL DE METILENO PELO BAGAÇO DE BUTIÁ PARA O TRATAMENTO DE EFLUENTES**

*Luciana Machado Rodrigues  
Vanessa Rosseto  
Clarissa Ferreira Pin  
Ethielle Bordignon de Carvalho Prestes*

**DOI 10.22533/at.ed.94719150316**

**CAPÍTULO 17 ..... 176**

**DESENVOLVIMENTO, CARACTERIZAÇÃO E APLICAÇÃO DE UM NOVO ADSORVENTE DE BAIXO CUSTO NA ADSORÇÃO E DESSORÇÃO MONO E MULTICOMPONENTE DE METAIS PESADOS EM COLUNA DE LEITO FIXO**

*Gabriel André Tochetto  
Danieli Brandler  
Deisy Maria Memlak  
Francine Caldart  
Gean Delise L. P. Vargas  
Cleuzir da Luz  
Joceane Pigatto  
Adriana Dervanoski*

**DOI 10.22533/at.ed.94719150317**

**CAPÍTULO 18 ..... 187**

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DO COMPLEXO OXALATO DE NIÓBIO NA OBTENÇÃO DE BIODIESEL SOB VIA METÉLICA**

*Rayane Ricardo da Silva  
Carlson Pereira de Souza  
Tiago Fernandes Oliveira  
Maria Veronilda Macedo Souto  
Angelinne Costa Alexandrino*

**DOI 10.22533/at.ed.94719150318**

**CAPÍTULO 19 ..... 195**

**ANÁLISE DA COMPATIBILIDADE ENTRE RESÍDUO OLEOSO DA INDÚSTRIA DE E & P DE PETRÓLEO E CIMENTO PORTLAND PARA UTILIZAÇÃO EM CONCRETO**

*Yane Coutinho Lira  
Fernanda Cavalcanti Ferreira  
Romildo Alves Berenguer  
Rodrigo Mendes Patrício Chagas  
Ana Maria Gonçalves Duarte Mendonça  
Milton Bezerra das Chagas Filho*

**DOI 10.22533/at.ed.94719150319**

**CAPÍTULO 20 ..... 205**

**RETENÇÃO DE ÍONS METÁLICOS DE COBRE E ZINCO EM CASCA DE MARACUJÁ AMARELO**

*Bianca de Paula Ramos  
Rosane Freire Boina*

**DOI 10.22533/at.ed.94719150320**

**SOBRE OS ORGANIZADORES..... 217**

## DETERMINAÇÃO E AVALIAÇÃO DA DUREZA E DA MICROESTRUTURA DO AÇO AISI 5160 NA CONDIÇÃO PADRÃO E ESFEROIDIZADO

### **Anelise Pereira da Silva**

FATEC - Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba, Pindamonhangaba/SP.

### **Suelen de Fátima Felisberto**

FATEC - Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba, Pindamonhangaba/SP.

### **Amir Rivaroli Junior**

FATEC - Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba, Pindamonhangaba/SP.

### **Cristina de Carvalho Ares Elisei**

FATEC - Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba, Pindamonhangaba/SP.

### **Jorge Luiz Rosa**

FATEC - Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba, Pindamonhangaba/SP.

### **Sérgio Roberto Montoro**

FATEC - Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba, Pindamonhangaba/SP.

(Este artigo se encontra nos Anais do XXII Encontro Latino Americano de Iniciação Científica - Universidade do Vale do Paraíba – 2018)

**RESUMO:** O aço AISI 5160 é uma liga de aço com teor de carbono de aproximadamente 0,60 %, o elemento de liga principal é cromo, que ajuda a garantir resistência a corrosão. É um aço que apresenta média temperabilidade e boa tenacidade. Para a realização deste trabalho foram cortadas dezessete amostras de uma

barra de aço 5160 com diâmetro de 22,5 mm. Foram realizados tratamentos em temperaturas intercríticas e subcríticas, variando-se os tempos de tratamento em 12, 24 e 36 horas. As amostras tratadas e não tratadas passaram pelos procedimentos de metalografia para determinação de micrografia e para realização dos ensaios de microdureza. O objetivo do presente trabalho foi avaliar a influência do tratamento térmico de esferoidização na dureza do aço AISI 5160. O tratamento de esferoidização confere a diminuição da dureza. Com os resultados obtidos pode-se analisar diferentes tipos de microestruturas de um mesmo aço, com valores de durezas variados. Constatou-se que as amostras tratadas a partir de 700°C apresentaram alteração da microestrutura de lamelas para esferoiditas, de onde foram obtidos os menores valores de dureza.

**PALAVRAS-CHAVE:** Aço AISI 5160, análise microestrutural, dureza, tratamento térmico de esferoidização.

## 1 | INTRODUÇÃO

O uso de tratamento térmico em metais está associado a mudança da microestrutura e, dessa forma, relacionado com suas propriedades mecânicas finais.

A microestrutura de um metal traz características das propriedades físicas, de fato, os microconstituintes de um metal podem ser alterados de várias formas, como por exemplo, por meio da realização de tratamento térmico. Isso é umas das primeiras coisas para se pensar na elaboração de uma peça metálica, além da sua aplicação. O aço, por exemplo, como qualquer outro metal, passa por vários processos térmicos até ficar pronto para sua comercialização. Suas aplicações podem ser em diversas áreas, como nas indústrias automobilísticas, naval, construção civil entre outros. O estudo referente a melhora de suas propriedades também está associado, além se sua composição química, mas também a sua microestrutura. Suas condições de fabricações e processamento, aplicação e condição de uso, são as primeiras coisas a se pensar na elaboração de um projeto.

Especificamente o recozimento, que é um tipo de tratamento térmico que pode alterar ou rearranjar a microestrutura do aço, é um dos tratamentos térmicos mais utilizados para diminuição da dureza. Um dos tipos de tratamento de recozimento é a esferoidização, que é aplicado em aços com médio ou alto teor de carbono para diminuição da dureza e aumento da ductilidade. Os meios para conseguir esses glóbulos esféricos de cementita, podem ser diversos. Um desses métodos trata-se da aplicação de um longo tempo dentro forno que, atualmente, ainda é o mais utilizado pelas indústrias. Pelo seu tipo de uso, neste trabalho o aço AISI 5160 foi submetido ao tratamento térmico de esferoidização com processo de aplicação de maiores tempos de exposição em distintas temperaturas, para alcançar as esferoidizações subcrítica e intercrítica.

## **2 | METODOLOGIA**

O presente trabalho foi realizado tendo como base o projeto experimental realizado por Peruch, (2009). A amostra de aço AISI 5160 foi cedida gentilmente pelo professor Amir Rivaroli e apresentava formato cilíndrico com 22,5 mm de diâmetro.

As análises de micrografia foram realizadas no Laboratório de Metalografia da FATEC de Pindamonhangaba. Foram cortadas dezessete amostras cilíndricas para serem tratadas sendo que uma amostra foi separada, na condição sem tratamento térmico. As demais amostras passaram pelo tratamento térmico de normalização, na temperatura de 860°C, com tempo de encharque de 1 hora por polegada. Em seguida, foram resfriadas ao ar até temperatura ambiente. Foram separadas duas amostras normalizadas para análise de micrografia e caracterização mecânica. As demais passaram pelo tratamento térmico de esferoidização. Ao término, foram separadas duas amostras para cada tratamento térmico.

Os tratamentos foram realizados em temperaturas subcrítica e intercrítica. A Tabela 1 apresenta as condições dos tratamentos térmicos que foram aplicadas em cada grupo de amostras.

Amostra	Condição	Temperaturas	Tempo	Resfriamento
Padrão	Comercial	-	-	-
1 e 2	Normalizado	860°C	12'	Ao ar
3 e 4	Recozido	610°C	24 h	Ao ar
5 e 6	Recozido	640°C	24 h	Ao ar
7 e 8	Recozido	670°C	24 h	Ao ar
9 e 10	Recozido	700°C	24 h	Ao ar
11 e 12	Recozido	730°C	24 h	Ao ar
13 e 14	Recozido	700°C	12 h	Ao ar
15 e 16	Recozido	700°C	36 h	Ao ar

Tabela 1 - Métodos para identificação das amostras.

Fonte: Os Autores.

Após a realização dos tratamentos térmicos, realizou-se o corte em uma cortadeira metalográfica. Em seguida, todas as amostras foram embutidas em baquelite, lixadas e polidas, seguindo-se metodologia adequada para a posterior revelação metalográfica.

O ataque químico corrosivo de revelação microestrutural foi efetuado com reagente Nital 2%. O ataque químico variou de 18 a 20 segundos, e foi realizado por imersão efetuando a interrupção com água e álcool etílico absoluto PA. Vale ressaltar que as amostras foram analisadas somente na região central por conta de risco da ocorrência de descarbonetação.

Em seguida foi realizada análise da morfologia, utilizando-se um microscópio ótico OLYMPUS BX51M, com objetivas de 5, 10, 20 e 100 e ampliação de 50x, 100x, 200x, 500x e 1000x. Além do microscópio óptico, foi utilizado o microscópio eletrônico de varredura, por se tratar de uma técnica de análise para melhor visualização das microestruturas. Foram realizados aumentos de 100x, 500x, 1500x e 3000x.

Depois foram realizadas as análises de microdureza Vickers. A carga utilizada no ensaio foi 0,5 kgf, com 5 pontos em cada amostra.

Por fim, foram efetuadas as análises para a determinação da dureza hard Rockwell (Escala A), objetivando a comparação em relação a peça bruta, a normalizada e as outras esferoidizados. Foram realizados 5 pontos em cada amostra, onde foi utilizada uma carga de 60 kg (escala HRA) com um penetrador de cone de diamante de 120°.

Todas as caracterizações descritas anteriormente foram realizadas nas dependências do Laboratório de Metalografia da Fatec Pindamonhangaba.

### 3 | RESULTADOS

Na Figura 1 tem-se o aço AISI 5160 nas condições iniciais (amostra sem tratamento) (a) e a amostra que foi normalizada a 860°C (b). Pode-se observar uma

microestrutura com as lamelas de perlita (lamelas de ferrita mais claras e lamelas de cementita mais escuras) intercalando as lamelas, com 70,56 % de perlita na amostra sem tratamento. Não foi possível identificar os outros possíveis elementos, por se tratar de um aço com elementos de liga além do ferro e carbono.

O ataque com nital 2% não permitiu a identificação das fases formadas com os elementos de liga, ou seja, as regiões mais claras não identificadas dentro do grão.

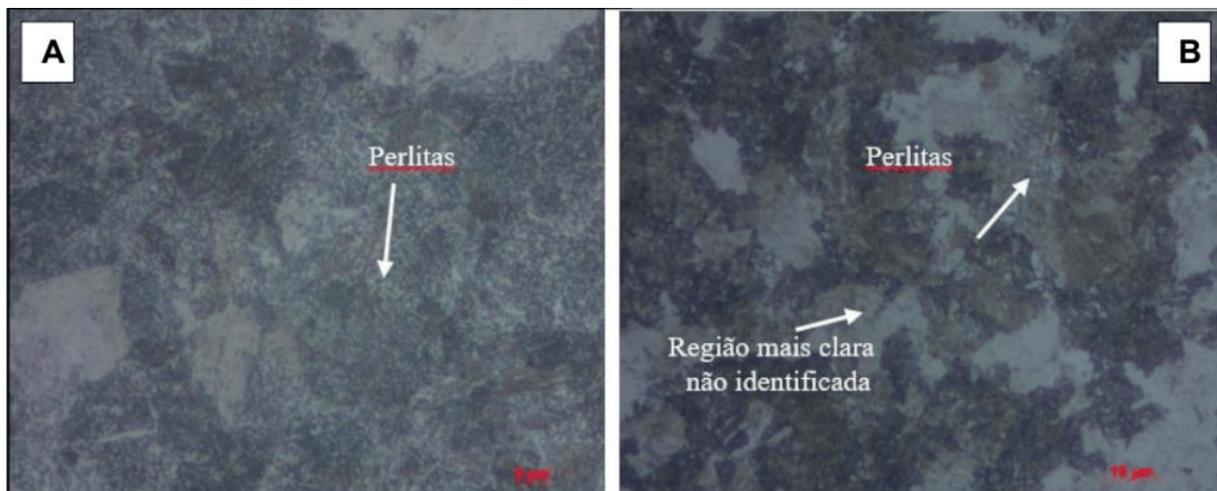


Figura 1 - Amostra em Condição Padrão, Ampliação de 1000x (A) e Amostra Normalizada, Ampliação de 1000x (B).

Fonte: Os Autores.

A Figura 2 apresenta as imagens obtidas pelo o microscópio eletrônico de varredura, das amostras sem tratamentos (condição padrão), com a ampliação de 1500 vezes (a) e 3000 vezes (b). As duas ampliações evidenciam as microestruturas, mostrando as lamelas de perlita que foram formadas dentro do grão.

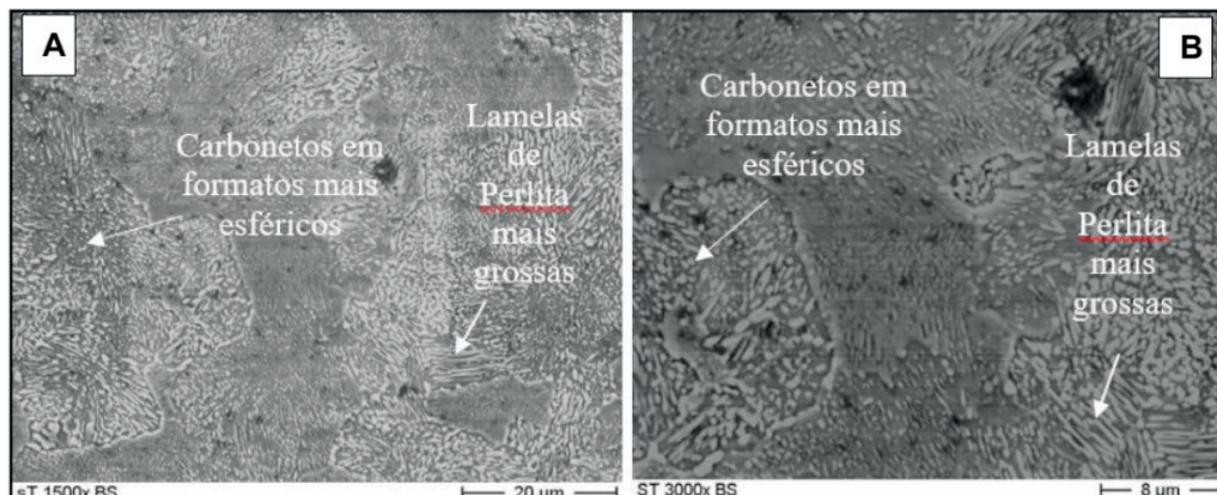


Figura 2 - Amostras sem tratamento térmico analisa pelo MEV. Amostra sem tratamento, aumento de 1500x (A) e amostra sem tratamento, aumento de 3000x (B).

Fonte: Os Autores.

A Figura 3 apresenta as microestruturas da amostra normalizada. Notou-se que

as lamelas de perlita finas ficaram mais evidenciadas, quando comparadas com a análise da microscopia óptica. Nesse trabalho não foi possível realizar a composição química das fases contidas dentro do grão e, com isso, a devida identificação das regiões mais claras das imagens obtidas.

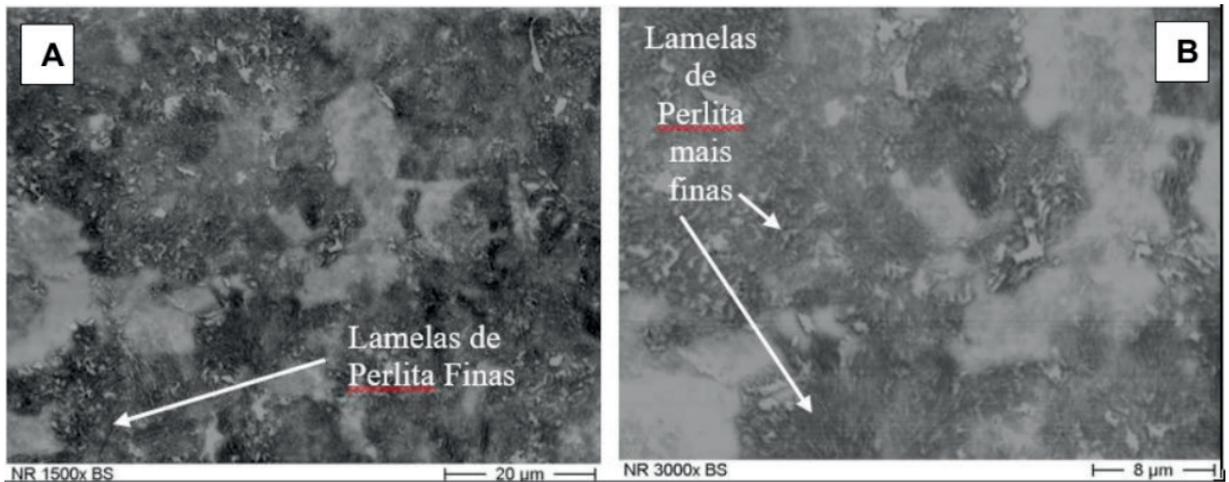


Figura 3 - Amostras normalizadas analisada pelo MEV. Amostra normalizada, aumento de 1500 x (A) e Amostra normalizada, aumento de 3000x (B).

Fonte: Os Autores.

Na Figura 4 tem-se a amostra normalizada após o tratamento de esferoidização na temperatura de 730°C por um período de 24 horas. Pode-se observar alguns pontos no contorno de grão, que já foram identificados nas imagens de microscopia óptica. Consultando-se a literatura, conclui-se que são carbonetos dissolvidos. Pelas análises de MEV, pode-se constatar que se tratam de carbonetos dissolvidos dentro do grão na matriz ferrítica e precipitados no contorno de grão.

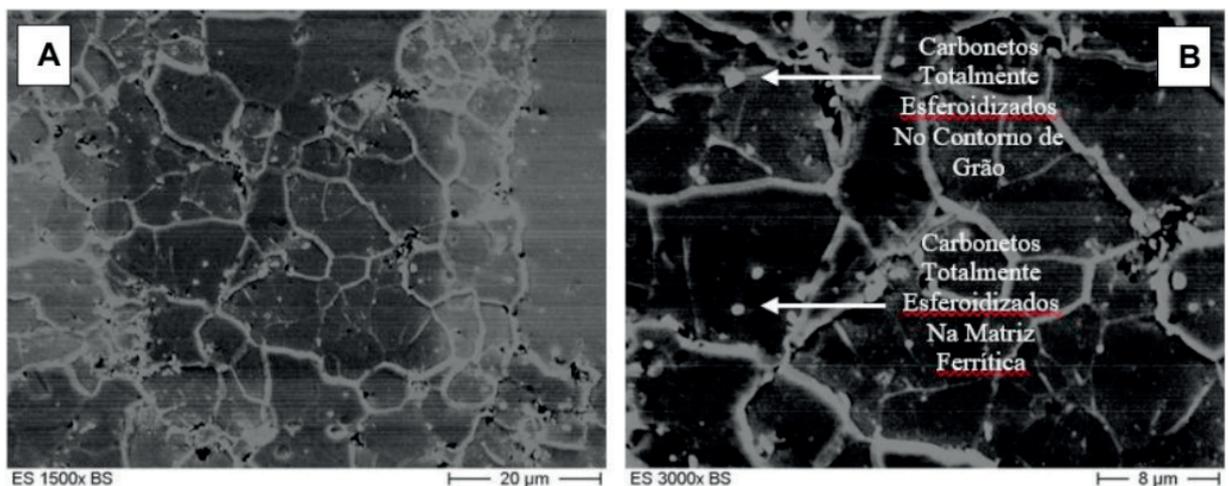


Figura 4 - Amostras de 730°C/24h analisada pelo MEV. Amostra esferoidizada 730°C/24 horas, Aumento de 1500 x (A) e Amostra esferoidizada 730°C/24 horas, aumento de 3000 x (B).

Fonte: Os Autores.

## 4 | DISCUSSÃO

Nas análises de microdureza, foram medidos cinco pontos em cada amostra, com carga de 0,5 kgf.

As medidas foram realizadas de uma borda até a outra, no sentido do diâmetro de cada amostra. Como pode-se observar, os menores valores foram encontrados nas amostras esferoidizadas na temperatura de 730°C por 24 horas. Todavia, na amostra normalizada em condição padrão, foram encontrados os maiores valores de dureza.

Os valores encontrados são pertinentes pelas diferenças de microestruturas pois, segundo a literatura, esperava-se que quanto mais esferoidizados os carbonetos, menores seriam os valores de dureza.

A perlita mais fina na amostra normalizada foi um fator para um aumento da dureza, em relação a perlita mais grossa. De acordo com Callister (2016), a perlita fina significa camadas de fases mais juntas, dando uma maior aderência nos contornos de grão. Dessa forma, a cementita serviria como um reforço para a ferrita. Essas evidências podem ser constatadas, analisando-se os resultados apresentados na Figura 5.

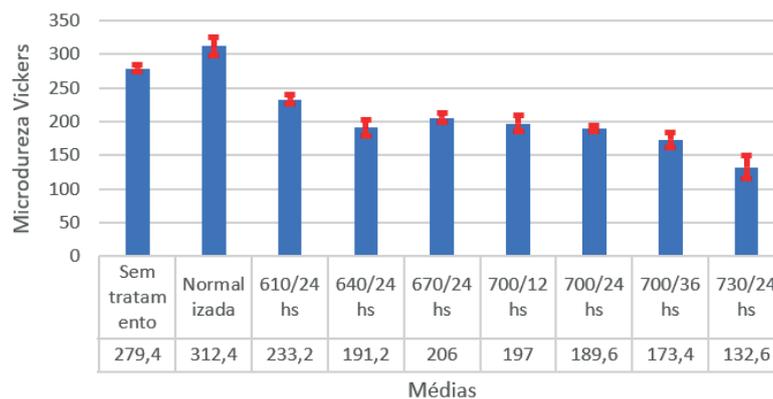


Figura 5 - Ensaio de Microdureza Vickers.

Fonte: Os Autores.

Para as análises de dureza foram realizadas cinco leituras na direção do diâmetro da barra de aço. A Figura 6 apresenta as médias dos valores de dureza que foram encontradas.

Como pode-se verificar, o maior valor de dureza foi o da amostra normalizada, como já observado anteriormente na microdureza Vickers, seguida da amostra na condição padrão. Foi observado que a dureza diminuiu de acordo com os tratamentos térmicos de esferoidização, com exceção das amostras de 610/24h, 640/24 h e 670/24 h, que apresentaram durezas parecidas, uma vez que, em HV em HR tem-se os mesmos valores, devido à pouca alteração da microestrutura promovida pelos tratamentos.

Em seguida, as durezas diminuíram com maior tempo e temperatura de esferoidização. Foi observado que, a partir da amostra de 700°C/12h, ocorreu uma

diminuição dos valores de dureza até a amostra de 730°C/24h, com valores bem semelhantes.

A redução da dureza está relacionada com as diferenças de microestruturas que, inicialmente, se apresentam com uma estrutura de lamelas de ferrita e perlita de maior energia e com o crescimento dos carbonetos globulares, juntamente com a ferrita de baixa energia, que fez com que aumentasse o caminho livre médio para as deslocações, promovendo dessa forma a redução da dureza.

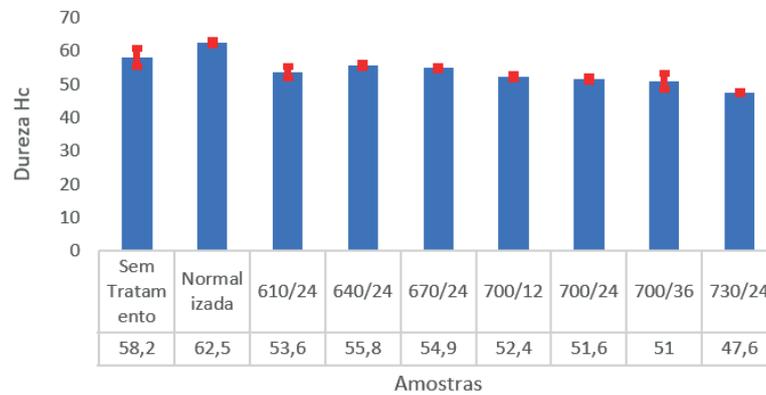


Figura 6 - Ensaio de Dureza.

Fonte: Os Autores.

## 5 | CONCLUSÃO

Pela análise de microscopia óptica, na amostra de 610°C/24h, ocorreu mudanças nas lamelas de cementita, mas com porcentagens bem menores de cementitas em glóbulos esféricos. As amostras que apresentaram fases esferoidizadas contendo somente esferoiditas foram as amostras de 700°C/ 24h, 700°C/36 h e de 730°C/24h.

Análise realizada pelo MEV, nas três amostras estudadas, foi observado uma notável diferença da microestrutura da amostra sem tratamento, quando comparada com a amostra normalizada, com alterações na perlita, uma grossa e outra fina, respectivamente.

No ensaio de dureza, os maiores valores foram encontrados na amostra normalizada, seguido pela amostra na condição prévia (sem tratamento). Das amostras esferoidizadas, iniciou-se a diminuição dos valores de dureza nas amostras de 700°C/12h, 700°C/24h, 700°C/36h e 730°C/24h, como já era esperado, pois, quanto mais esferoiditas, menor a dureza, evidenciando dessa forma, a eficiência dos tratamentos térmicos que foram estudados para a geração de microestrutura de esferoiditas. A partir da amostra de 700°C/12h ocorreu a redução dos valores de durezas. Entretanto, o menor de dureza foi encontrado na amostra de 730°C/24h, com 100% de esferoiditas.

Por fim, concluiu-se com a realização do presente trabalho que a temperatura de 700°C foi a temperatura ideal para a esferoidização do aço AISI 5160.

## REFERÊNCIAS

CALLISTER JUNIOR, William D. **Fundamentos da Ciência e Engenharia de Materiais: uma abordagem integrada**. 9ª ed. Rio de Janeiro: Ltc; 2016. P.325-366.

DINI, George Henrique. **Estudo de Diferentes Ciclos de Tratamento Térmico de Esferoidização para Aços da Família AISI 51xx**. Mestrado. Universidade Estadual Paulista Júlio Mesquita. Guaratinguetá, 2017.

PERUCH, Fábio. **Influência do Ciclo de Recozimento para Esferoidização nas Propriedades mecânicas do Aço ABNT 5160**. Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2009.

SOCHIO, Jarder André Dal. **Influência do Tratamento Térmico de Esferoidização sobre as Propriedades Mecânicas do Aço AISI 5140**. Graduação. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2014.

Agência Brasileira do ISBN  
ISBN 978-85-7247-194-7

