



# ENGENHARIA NA PRÁTICA:

IMPORTÂNCIA TEÓRICA E TECNOLÓGICA

FRANCIELE BRAGA MACHADO TULLIO  
(ORGANIZADORA)

 **Atena**  
Editora  
Ano 2020



# ENGENHARIA NA PRÁTICA:

IMPORTÂNCIA TEÓRICA E TECNOLÓGICA

FRANCIELE BRAGA MACHADO TULLIO  
(ORGANIZADORA)

 **Atena**  
Editora  
Ano 2020

**Editora Chefe**

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Assistentes Editoriais**

Natalia Oliveira

Bruno Oliveira

Flávia Roberta Barão

**Bibliotecário**

Maurício Amormino Júnior

**Projeto Gráfico e Diagramação**

Natália Sandrini de Azevedo

Camila Alves de Cremona

Karine de Lima Wisniewski

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

**Imagens da Capa**

Shutterstock

**Edição de Arte**

Luiza Alves Batista

**Revisão**

Os Autores

2020 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2020 Os autores

Copyright da Edição © 2020 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. 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.

A Atena Editora não se responsabiliza por eventuais mudanças ocorridas nos endereços convencionais ou eletrônicos citados nesta obra.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação.

**Conselho Editorial**

**Ciências Humanas e Sociais Aplicadas**

Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas

Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná

Prof. Dr. Américo Junior Nunes da Silva – Universidade do Estado da Bahia

Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior – Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais

Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília

Prof. Dr. Carlos Antonio de Souza Moraes – Universidade Federal Fluminense  
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
Prof. Dr. Daniel Richard Sant’Ana – Universidade de Brasília  
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia  
Profª Drª Dilma Antunes Silva – Universidade Federal de São Paulo  
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá  
Prof. Dr. Elson Ferreira Costa – Universidade do Estado do Pará  
Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima  
Prof. Dr. Gustavo Henrique Cepolini Ferreira – Universidade Estadual de Montes Claros  
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice  
Prof. Dr. Jadson Correia de Oliveira – Universidade Católica do Salvador  
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense  
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Pontifícia Universidade Católica de Campinas  
Profª Drª Maria Luzia da Silva Santana – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador  
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. William Cleber Domingues Silva – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

#### **Ciências Agrárias e Multidisciplinar**

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano  
Profª Drª Carla Cristina Bauermann Brasil – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás  
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados  
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná  
Profª Drª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia  
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa  
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará  
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof. Dr. Jael Soares Batista – Universidade Federal Rural do Semi-Árido  
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Profª Drª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará  
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa  
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Profª Drª Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido  
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

## **Ciências Biológicas e da Saúde**

Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Débora Luana Ribeiro Pessoa – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Douglas Siqueira de Almeida Chaves -Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Eysler Gonçalves Maia Brasil – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira  
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Gabriela Vieira do Amaral – Universidade de Vassouras  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Helio Franklin Rodrigues de Almeida – Universidade Federal de Rondônia  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Iara Lúcia Tescarollo – Universidade São Francisco  
Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. Jefferson Thiago Souza – Universidade Estadual do Ceará  
Prof. Dr. Jesus Rodrigues Lemos – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Jônatas de França Barros – Universidade Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Prof. Dr. Luís Paulo Souza e Souza – Universidade Federal do Amazonas  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Natiéli Piovesan – Instituto Federaci do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá  
Prof. Dr. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

## **Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto  
Prof. Dr. Alexandre Leite dos Santos Silva – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Prof<sup>ª</sup> Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho  
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá

Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

### **Linguística, Letras e Artes**

Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins  
Profª Drª Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro  
Profª Drª Carolina Fernandes da Silva Mandaji – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Profª Drª Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará  
Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões  
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná  
Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará  
Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste  
Profª Drª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia

### **Conselho Técnico Científico**

Prof. Me. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo  
Prof. Me. Adalberto Zorzo – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza  
Prof. Me. Adalto Moreira Braz – Universidade Federal de Goiás  
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba  
Prof. Dr. Adilson Tadeu Basquerote Silva – Universidade para o Desenvolvimento do Alto Vale do Itajaí  
Prof. Me. Alexsandro Teixeira Ribeiro – Centro Universitário Internacional  
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão  
Profª Ma. Anne Karynne da Silva Barbosa – Universidade Federal do Maranhão  
Profª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico  
Profª Drª Andrezza Miguel da Silva – Faculdade da Amazônia  
Prof. Dr. Antonio Hot Pereira de Faria – Polícia Militar de Minas Gerais  
Prof. Me. Armando Dias Duarte – Universidade Federal de Pernambuco  
Profª Ma. Bianca Camargo Martins – UniCesumar  
Profª Ma. Carolina Shimomura Nanya – Universidade Federal de São Carlos  
Prof. Me. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Ma. Cláudia de Araújo Marques – Faculdade de Música do Espírito Santo  
Profª Drª Cláudia Taís Siqueira Cagliari – Centro Universitário Dinâmica das Cataratas  
Prof. Me. Clécio Danilo Dias da Silva – Universidade Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Me. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará  
Profª Ma. Daniela da Silva Rodrigues – Universidade de Brasília  
Profª Ma. Daniela Remião de Macedo – Universidade de Lisboa  
Profª Ma. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco  
Prof. Me. Douglas Santos Mezacas – Universidade Estadual de Goiás  
Prof. Me. Edevaldo de Castro Monteiro – Embrapa Agrobiologia  
Prof. Me. Eduardo Gomes de Oliveira – Faculdades Unificadas Doctum de Cataguases  
Prof. Me. Eduardo Henrique Ferreira – Faculdade Pitágoras de Londrina

Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil  
Prof. Me. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita  
Prof. Me. Ernane Rosa Martins – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás  
Prof. Me. Euvaldo de Sousa Costa Junior – Prefeitura Municipal de São João do Piauí  
Profª Ma. Fabiana Coelho Couto Rocha Corrêa – Centro Universitário Estácio Juiz de Fora  
Prof. Dr. Fabiano Lemos Pereira – Prefeitura Municipal de Macaé  
Prof. Me. Felipe da Costa Negrão – Universidade Federal do Amazonas  
Profª Drª Germana Ponce de Leon Ramírez – Centro Universitário Adventista de São Paulo  
Prof. Me. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária  
Prof. Dr. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Me. Gustavo Krahl – Universidade do Oeste de Santa Catarina  
Prof. Me. Helton Rangel Coutinho Junior – Tribunal de Justiça do Estado do Rio de Janeiro  
Profª Ma. Isabelle Cerqueira Sousa – Universidade de Fortaleza  
Profª Ma. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia  
Prof. Me. Javier Antonio Albornoz – University of Miami and Miami Dade College  
Prof. Me. Jhonatan da Silva Lima – Universidade Federal do Pará  
Prof. Dr. José Carlos da Silva Mendes – Instituto de Psicologia Cognitiva, Desenvolvimento Humano e Social  
Prof. Me. Jose Elyton Batista dos Santos – Universidade Federal de Sergipe  
Prof. Me. José Luiz Leonardo de Araujo Pimenta – Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria Uruguay  
Prof. Me. José Messias Ribeiro Júnior – Instituto Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco  
Profª Drª Juliana Santana de Curcio – Universidade Federal de Goiás  
Profª Ma. Juliana Thaisa Rodrigues Pacheco – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Kamilly Souza do Vale – Núcleo de Pesquisas Fenomenológicas/UFPA  
Prof. Dr. Kárpio Márcio de Siqueira – Universidade do Estado da Bahia  
Profª Drª Karina de Araújo Dias – Prefeitura Municipal de Florianópolis  
Prof. Dr. Lázaro Castro Silva Nascimento – Laboratório de Fenomenologia & Subjetividade/UFPR  
Prof. Me. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Ma. Lillian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará  
Profª Ma. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ  
Profª Drª Lívia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás  
Prof. Dr. Lucio Marques Vieira Souza – Secretaria de Estado da Educação, do Esporte e da Cultura de Sergipe  
Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados  
Prof. Dr. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual do Paraná  
Prof. Dr. Michel da Costa – Universidade Metropolitana de Santos  
Prof. Dr. Marcelo Máximo Purificação – Fundação Integrada Municipal de Ensino Superior  
Prof. Me. Marcos Aurelio Alves e Silva – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo  
Profª Ma. Maria Elanny Damasceno Silva – Universidade Federal do Ceará  
Profª Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri  
Prof. Me. Ricardo Sérgio da Silva – Universidade Federal de Pernambuco  
Profª Ma. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal

Prof. Me. Robson Lucas Soares da Silva – Universidade Federal da Paraíba  
Prof. Me. Sebastião André Barbosa Junior – Universidade Federal Rural de Pernambuco  
Profª Ma. Silene Ribeiro Miranda Barbosa – Consultoria Brasileira de Ensino, Pesquisa e Extensão  
Profª Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo  
Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana  
Profª Ma. Thatianny Jasmine Castro Martins de Carvalho – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Me. Tiago Silvio Dedoné – Colégio ECEL Positivo  
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

## Engenharia na prática: importância teórica e tecnológica

**Editora Chefe:** Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira  
**Bibliotecário** Maurício Amormino Júnior  
**Diagramação:** Luiza Alves Batista  
**Edição de Arte:** Luiza Alves Batista  
**Revisão:** Os Autores  
**Organizadora:** Franciele Braga Machado Tullio

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

E57 Engenharia na prática [recurso eletrônico] : importância  
teórica e tecnológica / Organizadora Franciele Braga  
Machado Tullio. – Ponta Grossa, PR: Atena, 2020.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5706-308-8

DOI 10.22533/at.ed.088202408

1. Engenharia – Estudo e ensino. 2. Engenharia –  
Pesquisa – Brasil. 3. Prática de ensino. I. Tullio, Franciele  
Braga Machado.

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

**Atena Editora**

Ponta Grossa – Paraná – Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

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

[contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)

## APRESENTAÇÃO

A obra “Engenharia na Prática: Importância Teórica e Tecnológica” contempla vinte e oito capítulos com pesquisas relacionadas a diversos temas da engenharia.

Os estudos refletem a teoria obtida em livros, normas, artigos na prática, verificando sua aplicabilidade.

O desenvolvimento de novos materiais e a utilização de novas tecnologias partem de estudos já realizados, o que garante desenvolvimento nas diversas áreas da engenharia, gerando novas alternativas.

O estudo sobre o comportamento de materiais permite o aperfeiçoamento de materiais já existentes e proporciona uma otimização na execução de novos projetos.

O uso de energia limpa também é um tema muito abordado, tendo em vista a necessidade de otimização de recursos naturais.

Esperamos que esta obra proporcione uma leitura agradável e contribua para a geração de novos estudos, contribuindo para o desenvolvimento tecnológico.

Franciele Braga Machado Tullio

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1.....</b>	<b>1</b>
<b>A CONTRIBUIÇÃO FÍSICA E MATEMÁTICA PARA O APERFEIÇOAMENTO DO TIRO COM ARCO</b>	
Eduardo Franzoi Andrei Buse Mateus Filipi Moresco Jorge	
<b>DOI 10.22533/at.ed.0882024081</b>	
<b>CAPÍTULO 2.....</b>	<b>14</b>
<b>A INFLUÊNCIA DO NIÓBIO NA MICROESTRUTURA E PROPRIEDADES MECÂNICAS DO ALUMÍNIO: UMA REVISÃO</b>	
Márcio Valério Rodrigues de Mattos Gustavo Takehara Silva Vinicius Torres dos Santos Marcio Rodrigues da Silva Antonio Augusto Couto Givanildo Alves dos Santos	
<b>DOI 10.22533/at.ed.0882024082</b>	
<b>CAPÍTULO 3.....</b>	<b>21</b>
<b>ANÁLISE CRÍTICA COMPARATIVA ENTRE A NORMA ISO 29110 E O MODELO MPS.BR NÍVEL G</b>	
Nilson Salvetti André Rivas Ivanir Costa	
<b>DOI 10.22533/at.ed.0882024083</b>	
<b>CAPÍTULO 4.....</b>	<b>33</b>
<b>ANÁLISE DA ADERÊNCIA AO PLANEJAMENTO ESTRATÉGICO INSTITUCIONAL: ABORDAGEM BASEADA EM REDES BAYESIANAS</b>	
Danilo de Souza Novaes Roseno Nunes de Almeida Neto Silvana Rossy de Brito Aleksandra do Socorro da Silva	
<b>DOI 10.22533/at.ed.0882024084</b>	
<b>CAPÍTULO 5.....</b>	<b>46</b>
<b>ANÁLISE PARAMÉTRICA DA INJEÇÃO DE POLÍMEROS EM UM CAMPO DE PETRÓLEO DA BACIA POTIGUAR</b>	
Beatriz Ferraz Martins Jardel Dantas da Cunha Andréa Francisca Fernandes Barbosa Ricardo Henrique Rocha de Carvalho Antonio Robson Gurgel	
<b>DOI 10.22533/at.ed.0882024085</b>	

<b>CAPÍTULO 6.....</b>	<b>55</b>
BIOSORPTION OF OXYTETRACYCLINE FROM WATER USING MORINGA OLEÍFERA SHELLS	
Agustina De Olivera	
Ramiro Martins	
<b>DOI 10.22533/at.ed.0882024086</b>	
<b>CAPÍTULO 7.....</b>	<b>64</b>
COLETA SELETIVA NO UNIFOA – IMPLANTAÇÃO DE PROCESSO PILOTO NO PRÉDIO 18: SENSIBILIZAÇÃO DA COMUNIDADE INTERNA SOBRE RESÍDUOS SÓLIDOS	
Pedro Saturno Braga	
Camila Duarte Silva	
Lucas Marques Correa Ignácio	
Sabrina de Jesus Oliveira Cozzolino	
Sabrina Pires Arantes	
Roberto Guião de Souza Lima Júnior	
Ana Carolina Callegario Pereira	
Denise Celeste Godoy de Andrade Rodrigues	
<b>DOI 10.22533/at.ed.0882024087</b>	
<b>CAPÍTULO 8.....</b>	<b>74</b>
DESEMPENHO TÉRMICO DOS TELHADOS VERDES EM RELAÇÃO AOS TELHADOS CONVENCIONAIS	
Sergio Quezada García	
Marco Antonio Polo Labarrios	
Heriberto Sánchez Mora	
Manuela Azucena Escobedo Izquierdo	
Ricardo Isaac Cázares Ramírez	
<b>DOI 10.22533/at.ed.0882024088</b>	
<b>CAPÍTULO 9.....</b>	<b>88</b>
DESENVOLVIMENTO DE UMA PRÓTESE AUTOMÁTICA POR COMANDO DE SINAL ELETROMIOGRAFICO	
Jefferson Rodrigo Moreira de Sousa	
Rafael Bastos Duarte	
André Luiz Patrício França	
Sara Carreiro Beloni	
José Wanderson Oliveira Silva	
<b>DOI 10.22533/at.ed.0882024089</b>	
<b>CAPÍTULO 10.....</b>	<b>99</b>
EFEITOS DA RADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA IONIZANTE EM EQUIPAMENTOS ODONTOLÓGICOS	
Alessandro Márcio Hakme Da Silva	
Marcelo Caetano Oliveira Alves	
Thiago Augusto Neiva Spironelli	
Eduardo Souza Sims	

Patrícia Garani Fernandes  
Fernanda Florian  
Fabiana Florian  
Marcello Cláudio de Gouvea Duarte  
**DOI 10.22533/at.ed.08820240810**

**CAPÍTULO 11.....113**

**ESTIMAÇÃO DE PARÂMETROS DO SINAL ATRIAL FIBRILATÓRIO NO ELETROCARDIOGRAMA**

Miriam Ferraz de Paulo  
Eduardo Guy Perpétuo Bock  
Dalmo Antonio Ribeiro Moreira

**DOI 10.22533/at.ed.08820240811**

**CAPÍTULO 12.....117**

**ESTUDIO DEL IMPACTO DE LA ADICIÓN DE GLICERINA COMO CO-SUSTRATO EN LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DE RESIDUOS ORGÁNICOS**

María Isabel García Rodríguez  
Marcos Vinícius Konopka  
Matheus Vitor Diniz Gueri  
Andreia Cristina Furtado

**DOI 10.22533/at.ed.08820240812**

**CAPÍTULO 13..... 127**

**ESTUDO COMPARATIVO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E EXEGÉTICA DE UM PROCESSO SPRAY DRYER ALIMENTADO POR ENERGIA ELÉTRICA E GÁS NATURAL**

Antonio Rimaci Miguel Junior  
Valmir da Cruz de Souza  
Alex Alisson Bandeira Santos

**DOI 10.22533/at.ed.08820240813**

**CAPÍTULO 14..... 136**

**ESTUDO DE APLICAÇÃO DA TURBINA DE TESLA COMO MICROGERADOR**

Eloi Rufato Junior  
Alison Baena de Oliveira Monteiro  
Ricardo Ribeiro dos Santos

**DOI 10.22533/at.ed.08820240814**

**CAPÍTULO 15..... 158**

**ESTUDO DO POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS POR DEJETOS BOVINOS**

Marcos Vinícius Konopka  
María Isabel Garcia Rodriguez  
Denis Porfirio Viveros Rodas  
Andreia Cristina Furtado

**DOI 10.22533/at.ed.08820240815**

<b>CAPÍTULO 16.....</b>	<b>167</b>
ESTUDO PARA CONTROLE DE EMPENAMENTO EM PEÇAS INDUSTRIAIS TEMPERADAS	
João Alfredo Scheidemantel	
Christian Doré	
Lucile Cecília Peruzzo	
<b>DOI 10.22533/at.ed.08820240816</b>	
<b>CAPÍTULO 17.....</b>	<b>179</b>
EXECUÇÃO DE FUNDAÇÕES DO TIPO TUBULÃO CONFORME ORIENTAÇÕES DA NOVA NR-18 DE 10 DE FEVEREIRO DE 2020	
José Henrique Maciel de Queiroz	
Fabíola Luana Maia Rocha	
Francisco Kléber Dantas Duarte	
Caio Guilherme Ferreira Abrantes	
<b>DOI 10.22533/at.ed.08820240817</b>	
<b>CAPÍTULO 18.....</b>	<b>187</b>
INFLUÊNCIA DE LEVEDURAS LISAS E RUGOSAS NA PRODUÇÃO DE BIOETANOL EM ESCALA INDUSTRIAL	
Teresa Cristina Vieira Viana	
Rafael Resende Maldonado	
Eliana Setsuko Kamimura	
<b>DOI 10.22533/at.ed.08820240818</b>	
<b>CAPÍTULO 19.....</b>	<b>199</b>
INFLUÊNCIA DO ESPAÇAMENTO DENDRÍTICO SECUNDÁRIO NA DUREZA DA LIGA CU-14AL-5NI-5FE OBTIDA POR SOLIDIFICAÇÃO UNIDIRECIONAL	
Rogério Teram	
Givanildo Alves dos Santos	
Maurício Silva Nascimento	
Antonio Augusto Couto	
Vinícius Torres dos Santos	
Márcio Rodrigues da Silva	
<b>DOI 10.22533/at.ed.08820240819</b>	
<b>CAPÍTULO 20.....</b>	<b>211</b>
INTERFAZ PARA LA OPERACIÓN REMOTA DE UN MANIPULADOR MITSUBISHI MOVEMASTER RV-M1	
Luini Leonardo Hurtado Cortés	
John Alejandro Forero Casallas	
<b>DOI 10.22533/at.ed.08820240820</b>	
<b>CAPÍTULO 21.....</b>	<b>221</b>
LA EVALUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SU INCIDENCIA EN REPROBACIÓN Y DESERCIÓN	
M. en C. Marcial Reyes Cázarez	

**DOI 10.22533/at.ed.08820240821**

**CAPÍTULO 22..... 235**

**ANÁLISE DE DESEMPENHO DE ESTIMAÇÃO DE CARGA EM BATERIAS DE SÓDIO UTILIZANDO REDES NEURAS ARTIFICIAIS**

Norah Nadia Sánchez Torres  
Helton Fernando Scherer  
Oswaldo Ando Hideo Junior  
Jorge Javier Gimenez Ledesma

**DOI 10.22533/at.ed.08820240822**

**CAPÍTULO 23..... 247**

**PROSPECÇÃO E ROTAS TECNOLÓGICAS PARA A ENERGIA DO HIDROGÊNIO NO BRASIL**

Gustavo Sigal Macedo  
Jorge Alberto Alcalá Vela

**DOI 10.22533/at.ed.08820240823**

**CAPÍTULO 24..... 262**

**PROTOTIPO DE DINÂMICA DE SISTEMAS APLICADO A LA GESTIÓN DE PROYECTOS ACADÉMICOS DE PRÁCTICA PROFESIONAL SUPERVISADA EN CARRERAS DE INFORMÁTICA**

Alice Raquel Rambo  
Mariana Itatí Boari  
Roberto Luis Sueldo  
Ruben Urquijo  
Hector Chripczuk  
Ulises Ramirez

**DOI 10.22533/at.ed.08820240824**

**CAPÍTULO 25..... 273**

**THE MAGNETIC PASSIVE AND SLIDING BEARING SYSTEM WITH AXIAL MAGNETIC REPULSION TO AVOID PIVOT WEAR**

Carlos Frajuca

**DOI 10.22533/at.ed.08820240825**

**CAPÍTULO 26..... 281**

**USO DA LAMA CIMENTICIA COMO SUBSTITUTO DE AGREGADO MIÚDO NA FABRICAÇÃO DE CONCRETO**

Bruno Matos de Farias  
Érika Teles dos Santos  
Larissa Barbosa Iulianello  
Sheila Maria Ferreira Campos

**DOI 10.22533/at.ed.08820240826**

<b>CAPÍTULO 27.....</b>	<b>301</b>
<b>UTILIZAÇÃO DE NANOPARTÍCULAS MAGNÉTICAS NA RETIRADA DE PETRÓLEO DERRAMADO</b>	
Ana Caroline Nasaro de Oliveira	
Júnia Ciriaco de Castro	
Rosana Aparecida Ferreira Nunes	
<b>DOI 10.22533/at.ed.08820240827</b>	
<b>CAPÍTULO 28.....</b>	<b>315</b>
<b>UTILIZAÇÃO E AVALIAÇÃO DA ESPINHEIRA SANTA (<i>Maytenusilicifolia Martiusex Reissek</i>) COMO INIBIDOR DE CORROSÃO ORGÂNICO PARA APLICAÇÃO EM FLUIDOS PARA COMPLETAÇÃO</b>	
Jardel Hugo Gonçalves Paiva	
Jardel Dantas da Cunha	
Andréa Francisca Fernandes Barbosa	
Antonio Robson Gurgel	
Keila Regina Santana Fagundes	
Rodrigo Cesar Santiago	
<b>DOI 10.22533/at.ed.08820240828</b>	
<b>SOBRE A ORGANIZADORA.....</b>	<b>328</b>
<b>ÍNDICE REMISSIVO.....</b>	<b>329</b>

# CAPÍTULO 16

## ESTUDO PARA CONTROLE DE EMPENAMENTO EM PEÇAS INDUSTRIAIS TEMPERADAS

*Data de aceite: 01/07/2020*

### **João Alfredo Scheidemantel**

Faculdade Leonardo da Vinci, Brasil. E-mail: joaoscheidemantel@hotmail.com

### **Christian Doré**

Faculdade Leonardo da Vinci, Brasil. E-mail: chrisdore\_2@yahoo.com.br

### **Lucile Cecília Peruzzo**

Faculdade Leonardo da Vinci, Brasil. E-mail: lceciliap@hotmail.com

**RESUMO:** Considerando que todo o processo de fabricação inclui tensões residuais, quanto mais operações necessárias, maiores são as probabilidades de se obter empenamento no componente. Dessa forma, objetivando reduzir a inclusão de tensões superficiais e internas, procurou-se identificar qual a etapa mais crítica e, por conseguinte, agir com possibilidades preventivas viáveis e sem custos relevantes para a prevenção do problema encontrado. Para mensurar a sua tensão e definir qual o processo em que se caracteriza a maior inclusão de tensões residuais tratativas, sendo estas deletérias, utilizou-se o método de medição de tensões residuais por difração de raios X. Nesse sentido, diante dos resultados expostos, comprovou-se que a usinagem é a operação de maior solicitação ao componente. Visto que os processos posteriores somente agravam esta condição, resultando em um componente inutilizável para a aplicação proposta sem a inclusão de um maior custo ao produto, pelo uso de procedimentos de retrabalho ou refugo.

**PALAVRAS-CHAVE:** operações; tensões residuais tratativas; empenamento; difração de raios X; usinagem.

### STUDY FOR CONTROL OF DIMENSIONAL DISTORTION IN TEMPERED INDUSTRIAL PARTS

**ABSTRACT:** Since the entire manufacturing process includes residual stresses, the more operations required, the bigger the probabilities of warping the component. Thus, in order to reduce the inclusion of superficial and internal stresses, it was sought to identify the most critical stage and, therefore, to act with feasible preventive possibilities and without relevant costs for the prevention of the problem encountered. In order to measure its stress and define the process in which the highest inclusion of residual traction stresses is characterized, being these deleterious ones, the method of measurement of residual tensions by X-ray diffraction. In this sense, given the results, it has been proven that machining is the most critical operation of the component. Since the subsequent processes only aggravate this condition, resulting in an unusable component for the proposed application without the inclusion of a higher cost to the product, with a rework or scrap procedures.

**KEYWORDS:** operations; residual traction stresses; warping; X-ray diffraction; machining.

## 1 | INTRODUÇÃO

A inovação é algo intrínseco em indústrias que se mantêm no topo do mercado, estimulando o desenvolvimento de ferramentas, máquinas e componentes com novos materiais, geometrias, revestimentos, entre outros diversos fatores que são destinados a aplicações específicas.

A grande variação de materiais e geometrias para atendimento de vastas aplicações possibilitam o surgimento de tensões internas e residuais que, por algum processo de usinagem, conformação mecânica, tratamento térmico ou outros, possam causar distorções que inviabilizam a sua utilização.

De acordo com o processo de fabricação aplicado, existem condições extremas que agem diretamente nas propriedades químicas e mecânicas do componente, resultando em uma perda significativa na resistência do material influenciada por tensões residuais e internas. As tensões residuais são uma resposta elástica do material a uma ordenação heterogênea de deformações não elásticas, como deformações plásticas ou devido à dilatação térmica, transformação de fase, precipitações, entre outros<sup>[1]</sup>, facilitando a ocorrência da fragilização e falha do componente. Por esta razão que o conhecimento e estudo do comportamento das tensões residuais nos materiais tem grande importância<sup>[2]</sup>.

Durante o processo de fabricação, há diversas resultantes da extrapolação do limite de escoamento do material, sendo uma destas, a distorção dimensional. A norma DIN 17014-3 define que a distorção é a resultante da soma das alterações evitáveis e inevitáveis do processo<sup>[3]</sup>. Dessa forma, tornam-se “necessárias subetapas de fabricação para a realização de endireitamentos e desempenamentos de componentes”<sup>[4]</sup>, que agregam custos desnecessários ao produto final por meio de processos de retrabalho<sup>[5]</sup>.

Considerando que serão fabricados dois corpos de prova, sabe-se que ambos terão processos de usinagem e tratamento térmico de têmpera. No processo de fabricação do primeiro corpo de prova, serão considerados uma operação de usinagem mais agressiva e uma etapa de tratamento térmico de alívio de tensões, além da têmpera, com o intuito de homogeneizar a microestrutura do material e, por conseguinte, as suas tensões internas e residuais<sup>[6]</sup>. Logo, será possível evitar a ocorrência de novas discordâncias neste componente após a têmpera. Enquanto isso, o processo de fabricação do segundo corpo de prova será mantido nos parâmetros usuais, para simular uma situação real e compara-la ao resultado da proposta anteriormente descrita, com a inclusão do alívio de tensões.

Levando em consideração os aspectos mencionados, a tensão residual originar-se-á do método de difração de raios X, sendo este o método mais preciso e confiável na indústria para análises deste segmento.

O trabalho será seccionado entre a metodologia aplicada e resultados obtidos por meio dos testes. Dentre os dados abordados, a metodologia relacionará qual será o processo de fabricação para os corpos de prova A e B e os processos de medição por difração de raios X. Adiante, serão mencionados os resultados determinados pelo método de análise das tensões escolhido, comparando a condição atual e a proposta exposta.

## 2 | MATERIAIS E MÉTODOS

É inegável que as distorções evitáveis ocasionadas durante o processo de fabricação de um componente, se tornam um agravante nos quesitos custo e produtividade. Com finalidade de determinar qual é o processo de fabricação que mais tem influência nas distorções dimensionais no produto, foram abordados dois tipos de tratativas em dois corpos de prova distintos fabricados em AISI 4140 e denominados na Tabela 1.

Corpo de prova	Definição
A	Processo de fabricação real
B	Processo de fabricação alterado

Tabela 1. Denominação dos corpos de prova A e B.

Fonte: elaboração própria.

Por meio da análise de sua microestrutura (análise metalográfica) e sua caracterização atômica e molecular (análise por difração de raios X), foram analisados quais processos se caracterizam deletérios ao produto final, quando considerado as distorções dimensionais. O processo de fabricação e testes dos corpos de prova A e B podem ser visualizados nas Tabela 2 e 3.

Seq.	Processo de fabricação/testes
1	Análise metalográfica
2	Serramento
3	Torneamento (desbaste)
4	Medição das tensões por difração de raios X
5	Torneamento do perfil (acabamento)
6	Tratamento térmico de têmpera
7	Medição das tensões por difração de raios X

Tabela 2. Processo de fabricação dos corpos de prova A.

Fonte: elaboração própria.

Seq.	Processo de fabricação/testes
1	Análise metalográfica
2	Serramento
3	Torneamento (desbaste)
4	Torneamento do perfil (acabamento)
5	Medição das tensões por difração de raios X
6	Tratamento térmico de recozimento
7	Tratamento térmico de têmpera
8	Medição das tensões por difração de raios X

Tabela 3. Processo de fabricação dos corpos de prova B.

Fonte: elaboração própria.

Os ensaios de difração de raios X foram realizados em um difratômetro Panalytical modelo Empyrean (Figura 1), com fonte de cromo ( $\lambda = 2,291062 \text{ \AA}$ ), voltagem de 35 kV e corrente de 40 mA. O ensaio foi realizado no laboratório de Tecnologia e Caracterização Mecânica (LATECME), localizado no Senai de Joinville em Santa Catarina, Brasil. A fim de definir o plano cristalográfico, o pico de maior intensidade está na posição dos planos h, k e l (plano 112, no índice de Miller)<sup>[7]</sup>.



Figura 1. Difratômetro Panalytical Empyrean<sup>[8]</sup>.

Para realização da análise metalográfica, foi utilizado um corpo de prova extraído do mesmo lote utilizado para fabricação dos corpos de prova A e B, com 15 mm de diâmetro e espessura de 10 mm. O corpo de prova bruto foi cortado, lixado, polido e atacado com um reagente químico, de modo a revelar as interfaces entre os constituintes do material. O ensaio de microscopia foi realizado com auxílio de um microscópio óptico Olympus – modelo BX53M.

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.1 Análise do material beneficiado

A análise metalográfica foi realizada para identificar se existem pontos de heterogeneidade no material. A homogeneidade é um dos pontos necessários para a minimização da interferência da variável matéria-prima na distorção dos produtos<sup>[9]</sup>.

Portanto, o controle do processo da produção do aço e de sua homogeneidade desempenha papel importante não apenas na geração de um produto que satisfaça as exigências mecânicas, mas também que minimize as possibilidades de distorção dimensional<sup>[10]</sup>.

Na região da superfície analisada na Figura 2, pode-se constatar que existe decarbonetação associada ao processo de laminação para a produção da barra analisada. A ausência de carbono na região imediatamente próxima a superfície impediu a formação de martensita. Pode ser constatado que a microestrutura retratada segue um modelo típico para o aço SAE 4140 beneficiado, onde a presença de finas agulhas de martensita revenida se torna evidente. Vale ressaltar que ambos corpos de prova foram retirados do mesmo lote de material bruto, estendendo as análises metalográficas à ambos corpos de prova.

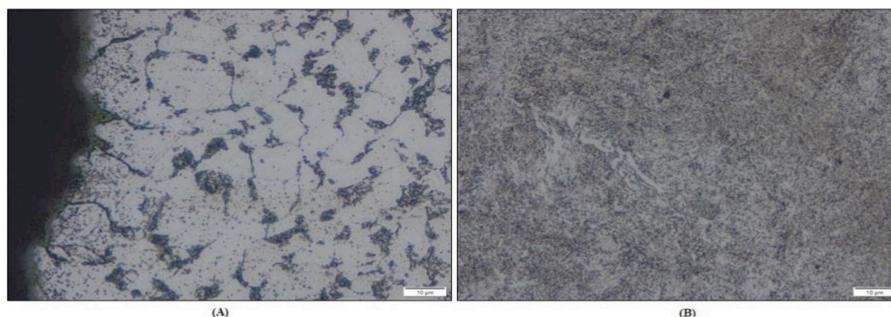


Figura 2. (A) Microscopia óptica da superfície do corpo de prova, corte transversal. Aumento 1000x. (B) Microscopia óptica do núcleo do corpo de prova, corte transversal. Aumento 1000x.

Fonte: elaboração própria.

### 3.2 Ação dos processos de usinagem

A determinação de tensão gerada nos processos de usinagem foi analisada por meio da difração de raios X, aplicada após o processo de usinagem para desbaste, no corpo de prova A indicada na Figura 3 (A) e após a usinagem do perfil no corpo de prova B indicada na Figura 3 (B).

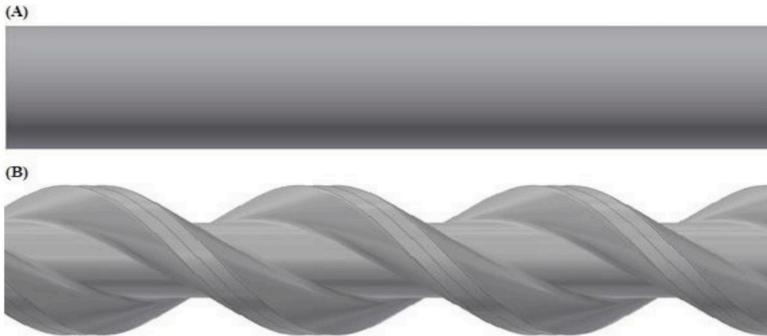


Figura 3. (A) Representação do corpo de prova A, após o processo de torneamento para desbaste. (B) Representação do corpo de prova B, após o processo de torneamento para usinagem do perfil.

Fonte: elaboração própria.

A deformação causada na superfície foi mensurada por meio da difração de raios X, pela razão da variação da distância livre de deformação pela distância interplanar. A distância interplanar representada como “d” na Figura 4 é convertida em tensão, segundo equações da teoria da elasticidade<sup>[11]</sup>, ou seja, “a variação da distância entre planos cristalinos, induzida pela presença de tensões, é medida com base na Lei de Bragg (Equação 1)”<sup>[12]</sup>.

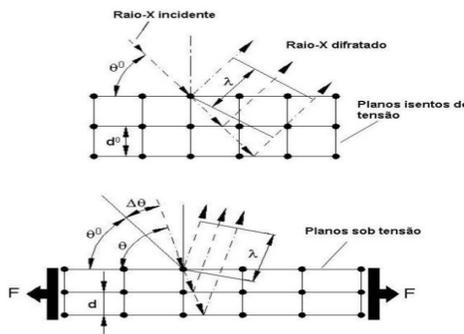


Figura 4. Difração de raios X em cristais simples carregados e descarregados<sup>[13]</sup>.

$$n\lambda = 2d \cdot \text{sen } \theta \quad (1)$$

Para definição do plano cristalográfico e coordenada do ponto a ser analisado, foi considerado que o pico de maior intensidade aplicável ao estudo está na posição do plano cristalográfico h, k e l (tipo de índice de Miller), plano 112<sup>[6]</sup>.

Para realização dos processos de difração de raios X, a fonte utilizada foi de Cromo (Cr -  $\lambda$  2,291062 Å). A fonte de cromo foi designada eficiente em amostras que contém molibdênio (Mo)<sup>[14]</sup>.

Para determinação dos valores de tensão residual nas amostras, sabe-se que a tensão residual é proporcional à derivada de  $2\theta$  em função de  $\text{sen}^2 \psi$ , como descreve a Lei de Bragg. Por meio das equações derivadas da teoria da elasticidade, foi possível calcular as tensões. Com base na deformação definida pela tensometria de difração de raios X, a Tabela 4 apresenta os valores calculados nas direções transversal e longitudinal para o corpo de prova A<sup>[15]</sup>.

Diante dos dados abordados na Tabela 4, é possível verificar que ambas as direções possuem um valor indicando o comportamento trativo, interferindo negativamente nas propriedades mecânicas e aumentando a possibilidade de surgimento de deformações e defeitos superficiais<sup>[16]</sup>.

Phi (°)	SigmaPhi (MPa)	Desvio padrão (MPa)
0	+495,7	53,7
90	+414,7	15,1

Tabela 4. Resultado da caracterização de tensões residuais para o corpo de prova A após usinagem para desbaste.

Fonte: elaboração própria.

O difratograma resultante do ensaio realizado no corpo de prova B na direção de 0°, pode ser visualizado na Figura 5. O eixo da abcissa descreve a angulação de influência dos raios X. Consta-se que o pico atingido foi de aproximadamente 156,384°, definido pela Lei de Bragg, pico de intensidade este devido ao plano 112.

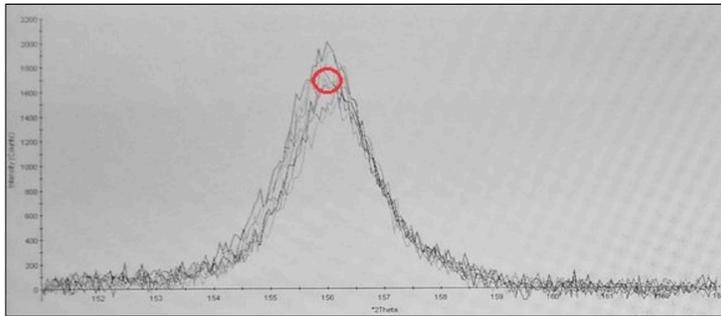


Figura 5. Difratoograma de raios X do aço SAE 4140 submetido a usinagem do perfil (corpo de prova B).

Fonte: elaboração própria.

Desta forma, o ângulo de aproximadamente  $156^\circ$ , influenciado pelo plano h, k e l determinado anteriormente para a análise, descreve um comportamento típico de aços compostos por cromo e molibdênio. Para a faixa de varredura, foi utilizado 12 graus, com um intervalo de medição de  $0,05^\circ$ . E o eixo das ordenadas relaciona a intensidade de reflexão para cada angulação definida.

Contudo, a Tabela 5 apresenta os valores das tensões residuais calculados nas direções transversal e longitudinal para o corpo de prova B. É possível constatar que após a usinagem do perfil, os valores de tensões residuais nas duas direções se tornaram predominantemente compressivos.

Phi ( $^\circ$ )	SigmaPhi (MPa)	Desvio padrão (MPa)
0	-142,4	13,0
90	-58,4	7,8

Tabela 5. Resultado da caracterização de tensões residuais para a corpo de prova B após usinagem do perfil.

Fonte: elaboração própria.

Pode-se concluir, portanto que, considerando os resultados obtidos e relatados nas Tabela 4 e 5, mesmo considerando o valor de desvio padrão mais próximo de ambos, têm-se uma variação de aproximadamente 571 MPa de tensões concentradas na superfície no sentido longitudinal e 450 MPa no sentido transversal. Valor este que, com a máxima variação diante do desvio padrão exposto, pode alcançar 705 MPa no sentido longitudinal e 496 MPa no sentido transversal, fator este bastante preocupante, considerando que a tensão de escoamento do aço AISI 4140 é aproximada em 417 MPa<sup>[17]</sup>.

Para as condições de usinagem empregadas, observa-se que o processo de usinagem, principalmente a operação para geração do perfil, são deletérias à

integridade superficial. Considerando que, para o corpo de prova B, o comportamento das tensões se tornara compressivas, ou seja, menos “prejudiciais” em relação às tratativas, da mesma forma, teve-se uma variação de uma média de 638 MPa para a sua tensão residual no sentido longitudinal e, 473 MPa no sentido transversal. A tensão sobressalente, além de favorecer o surgimento da deformação plástica durante o processo de fabricação, pode induzir as peças a um empenamento quase que previsível após o tratamento térmico de têmpera.

Para análise dos processos de usinagem, considerando que o objetivo é identificar o processo gerador de tensões sobressalentes, não foram alterados os parâmetros usualmente utilizados para a retirada do material, tendo assim uma projeção de uma situação real na produção. Dessa forma, os parâmetros de usinagem utilizados não serão mencionados.

### 3.2.1 Ação dos processos de tratamentos térmicos

No tratamento térmico de têmpera, foi induzido cerca de 950°C em aproximadamente 10 segundos, tempo necessário para que a bobina percorra todo o perímetro dos corpos de prova. Dessa forma, imediatamente ao aquecimento a peça foi resfriada em uma solução de água para obtenção da sua dureza especificada.

Durante o processo de solidificação das estruturas cristalinas, a superfície contém um resfriamento diferente ao do núcleo. Essa discrepância entre as camadas influencia na formação de grãos com geometrias e tamanhos diferenciados, facilitando o surgimento de tensões não desejadas na estrutura do aço<sup>[18]</sup>.

A Tabela 6 descreve os resultados obtidos pela medição por difração de raios X, no corpo de prova B no qual aplicou-se o processo tradicional explanado. Percebe-se que os valores tiveram uma variação notável, sabendo que na direção de 0°, no ponto analisado, o corpo de prova obteve -566,1 MPa em comportamento compressivo e -399,3 MPa ainda no estado de tensão compressiva. Logo para a direção de 90°, a tensão residual mensurada tendeu ao estado trativo em sua pior condição. O valor mínimo e máximo para esta condição segue, respectivamente como, -245 MPa e +257 MPa. Ainda assim, considerando a pior situação, a tensão intrínseca na superfície pode superar os 823 MPa entre as direções longitudinais e transversais. Um componente com tal comportamento tende a falhar em solicitações cíclicas e constantes.

Phi (°)	SigmaPhi (MPa)	Desvio padrão (MPa)
0	-482,7	83,4
90	+6,0	251,0

Tabela 6. Resultado da caracterização de tensões residuais para o corpo de prova A após tratamento térmico de têmpera.

Fonte: elaboração própria.

Tendo em vista os dados expostos na Tabela 7, conclui-se que o corpo de prova B, no qual foi intensificado as ações de prevenção das distorções evitáveis, teve-se uma variação bem menor em relação ao outro corpo de prova, na mesma etapa. A sua tensão residual máxima e mínima, respectivamente, foram mensuradas em -334,8 MPa e -39 MPa, considerando o desvio padrão relacionado, com uma variação máxima de 295,8 MPa entre as direções analisadas.

Phi (°)	SigmaPhi (MPa)	Desvio padrão (MPa)
0	-223,6	111,2
90	-145,9	106,9

Tabela 7. Resultado da caracterização de tensões residuais para o corpo de prova B após tratamento térmico de têmpera.

Fonte: elaboração própria.

Tendo em vista os dados observados, o alívio de tensões auxiliou na homogeneização da estrutura cristalina, com a redução das tensões retidas na superfície nos pontos analisados. Ainda assim, as tensões obtidas caracterizam um material com comportamento compressivo, que dificulta a propagação de trincas em solicitações por fadiga<sup>[19]</sup>.

Quanto maior a tensão residual mensurada, maior a sua exposição para fatores como aumento do atrito, aumento da corrosão, aumento da fragilidade entre outros. Parâmetros estes que são intensificados em condições de tensões residuais tratativas. Contudo, o corpo de prova B obteve uma variação admissível de tensões intrínsecas em sua superfície, ainda assim no comportamento compressivo<sup>[20]</sup>.

## 4 | CONCLUSÕES

Neste trabalho, compararam-se características que influenciam nas tensões agregadas na matéria-prima, usinagem (desbaste e acabamento) e tratamentos térmicos em corpos de prova fabricados em aço cromo molibdênio (AISI 4140).

Com relação a matéria prima, pode-se afirmar que uma microestrutura heterogênea influencia as etapas de fabricação posteriores, com distorções evitáveis e outros fatores deletérios originados por tensões sobressalentes.

Considerando os processos de usinagem, são notórias as diferenças de tensões obtidas nas fases de desbaste (pré-usinagem) e a usinagem de acabamento (geração da helicóide), onde a diferença de tensões se aproximou à 705 MPa, ou seja, aproximadamente 60% superior ao limite de escoamento do material. Dessa forma, tornando a usinagem o principal gerador de tensões residuais também induzido pelo avanço e profundidade de corte durante o processo<sup>[21]</sup>.

De modo que comprovada a ação da usinagem, o processo de tratamento térmico de recozimento mostrou-se eficaz para alívio das tensões do material do corpo de prova B anteriormente ao tratamento térmico de têmpera, caracterizando

um comportamento compressivo, dificultando a propagação de trincas em solicitações por fadiga em aplicações posteriores. Contudo, o corpo de prova A, no qual não foi aplicado nenhum tratamento para alívio das tensões, apresentou um comportamento trativo, caracterizado por apresentar falhas em solicitações cíclicas.

## REFERÊNCIAS

1. J.L. Fernandes. “Análise e modelagem de tensões residuais em juntas soldadas”. Tese (doutorado). Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro: Rio de Janeiro, 2002. p. 11.
2. D.C. Carmo. “Análise de tensões por ultrassom em barra de aço sob flexão”. Dissertação (pós-graduação). Universidade Federal do Rio de Janeiro: Rio de Janeiro, 2006.
3. Deutsches Institut für Normung. “DIN 17014-3: Heat treatment of ferrous materials; notation to indicate heat treatment processes”. Berlin, 1976.
4. R.M. Menezes. “Análise de tensões residuais no processo de trefilação combinada do aço AISI 1048 visando minimizar distorções pós processamento”. Dissertação (mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul: Porto Alegre, 2008. p. 11.
5. H.W. Zoch. “From single production step to entire process chain – The global approach of distortion engineering”. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. Bremen, 2006.
6. R. Suterio. “Medição de tensões residuais por endentação associada à holografia eletrônica”. Tese (doutorado). Universidade Federal de Santa Catarina: Florianópolis, 2005.
7. P.G. Gallardo, O. Izarra, L. Méndez, S. Torres, M. Quintero, H. Cabrera, E.P. Cappé, I.Z. Dubé, A. Rodríguez, J.A. Aitken, D.P. Rai. “Preparation and characterization of  $(\text{Cu}_{1-x}\text{Ta}_x)_2$  solid solutions ( $0 < x < 1$ )”. Journal of Alloys and Compounds, Elsevier B.V. p. 176-188, 2018.
8. Panalytical Empyrean. Empyrean: a solução multifuncional para suas necessidades analíticas. Disponível em: <http://www.panalytical.pt/Empyrean.htm>.
9. C. Cui, U. Fritsching, A. Schulz, K. Bauckhage, P. Mayr. “Spray forming of homogeneous bearing steel of minimized distortion potential”. Materials Science Forum v. 475 – 479. Switzerland: Trans Tech Publications.
10. E.S. Alencar. “Análise de distorções dimensionais em anéis de rolamento no tratamento térmico em fornos de esteira contínuos”. Dissertação (mestrado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo: São Paulo, 2009.
11. N.B. Lima. “Influência da textura em medidas de tensão residual”. Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares. Universidade de São Paulo: São Paulo, 1991.
12. N.P.S. Barbosa, R.R. Souza. “Análise das tensões residuais geradas no torneamento em altas velocidades de um aço SAE 4140”. Monografia (bacharelado). Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca: Rio de Janeiro, 2016. p. 22.
13. E. Brinksmeier, J.T. Cammett, W. König, P. Leskovic, J. Peters, H.K. Tönshoff. “Residual Stresses – Measurement and causes in machining”. v. 31. Elsevier. Annals of the CIRP, 1982.
14. C.G. Shull, M.K. Wilkinson. “Neutron Diffraction Studies of Various Transition Elements”. Oak Ridge National Laboratory: Tennessee, 1953.

15. P. Prev y. "Current Applications of X-ray diffraction - Residual Stress Measurement". ASM International - Developments in Materials Characterization Technologies. Columbus, 1996.
16. R.M. Menezes. "Análise de tensões residuais no processo de trefila o combinada do aço AISI 1048 visando minimizar distor es pós processamento". Disserta o (mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul: Porto Alegre, 2008.
17. M.A.C. Rocha, S.S.M. Tavares, M.P.C. Fonseca, J.M. Pardal, V.F. Terra. "Estudo das propriedades mecânicas de um aço SAE 4140 com estrutura bifásica". Disserta o (p s-gradua o). Universidade Federal Fluminense: Niterói, 2004.
18. W. Callister. "Ciência e engenharia de materiais: uma introdu o". 8  ed. John Wiley & Sons: New Jersey, 2012.
19. F.J. Corrêa, L. Schaeffer. "Compara o das propriedades mecânicas do aço AISI 4140 no estado recozido e no estado normalizado". Universidade Federal do Rio Grande do Sul: Porto Alegre, 2013.
20. J. Lu. "Prestress engineering of structural material: A global design approach to the residual stress problem". Handbook of residual stress and deformation of steel. ASM International: Ohio, 2002.
21. E. Capello. "Residual stresses in turning. Part I: Influence of process parameters". Journal of Materials Processing Technology, 2005.

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Alumínio 29, 31, 32, 34, 35, 215, 216, 225  
Arco 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 26, 28  
Arduino 103, 104, 107, 108, 109, 110, 111, 112

### C

Coleta Seletiva 79, 80, 81, 83, 86, 87, 88  
Conhecimento Organizacional 48, 50, 52

### D

Desempenho Térmico 89

### E

Educação Ambiental 79, 80, 83, 86, 87, 88  
Eletrônica 103, 112, 192, 314, 339  
EMG 103, 104, 106, 107, 108, 111, 112, 113  
Energia 16, 17, 18, 126, 141, 142, 149, 151, 172, 260, 262, 265, 270, 271, 272, 274, 276  
Energia Cinética 16, 17, 18

### F

Fator 61, 67, 68  
Fator de Recuperação 61, 63, 65, 67, 68

### G

Gestão do Conhecimento 36, 48, 49, 50, 51, 59, 60  
Gestão do Conhecimento em IFES 48

### I

Injeção de Polímeros 61, 62, 67  
ISO/IEC 29110 36, 37, 40, 41

### M

Mão Mecânica 103, 107, 110  
MPS.Br 36, 37, 38, 39, 42, 43, 44, 46, 47

### N

Nióbio 29, 30, 31, 32, 34, 35

### P

Planejamento Desenvolvimento Institucional 48  
Planejamento Estratégico 48, 49, 51, 59, 60, 267  
Potencial 16, 17, 18, 37, 104, 111, 112, 135, 136, 151, 170, 172, 173, 174, 181, 227, 262, 263, 269, 284, 330, 332, 333, 336, 337, 338

Propriedades Mecânicas 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 188, 193, 215, 216, 217, 224, 296, 300

Prótese 103, 104, 107, 108, 110, 111, 112, 113

## **R**

Reciclagem 80, 84, 87, 88, 298, 315

Refino de Grão 29

Resíduos Sólidos 79, 80, 81, 88, 298, 313, 314

Resistência Térmica Equivalente 89

## **S**

Simulação Numérica 61

Solidificação Unidirecional 29, 32, 33, 214, 218

Sustentabilidade 80, 181, 260, 298, 316

## **T**

Telhados Verdes 89

Tiro 16, 17, 22, 24, 26, 27, 28

## **V**

Variáveis Térmicas 29, 32, 33, 35, 214, 215, 217, 224, 225

# ENGENHARIA NA PRÁTICA:

IMPORTÂNCIA TEÓRICA E TECNOLÓGICA

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

[contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br) 

[@atenaeditora](#) 

[www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br) 

 **Atena**  
Editora  
Ano 2020

# ENGENHARIA NA PRÁTICA:

IMPORTÂNCIA TEÓRICA E TECNOLÓGICA

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

[contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br) 

[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora) 

[www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br) 