

# Engenharia de Materiais e Metalúrgica: Tudo à sua Volta 2

Henrique Ajuz Holzmann  
João Dallamuta  
(Organizadores)



**Atena**  
Editora  
Ano 2021

# Engenharia de Materiais e Metalúrgica: Tudo à sua Volta 2

Henrique Ajuz Holzmann  
João Dallamuta  
(Organizadores)



**Atena**  
Editora  
Ano 2021

**Editora Chefe**

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Assistentes Editoriais**

Natalia Oliveira

Bruno Oliveira

Flávia Roberta Barão

**Bibliotecária**

Janaina Ramos

**Projeto Gráfico e Diagramação**

Natália Sandrini de Azevedo

Camila Alves de Cremo

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

**Imagens da Capa**

Shutterstock

**Edição de Arte**

Luiza Alves Batista

**Revisão**

Os Autores

2021 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2021 Os autores

Copyright da Edição © 2021 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-Não-Comercial-NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 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.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

**Conselho Editorial**

**Ciências Humanas e Sociais Aplicadas**

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  
Prof. Dr. Crisóstomo Lima do Nascimento – Universidade Federal Fluminense  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
Prof. Dr. Daniel Richard Sant’Ana – Universidade de Brasília  
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Ivone Goulart Lopes – Instituto 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  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Pontifícia Universidade Católica de Campinas  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Maria Luzia da Silva Santana – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará  
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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> Elizabeth Cordeiro Fernandes – Faculdade Integrada Medicina

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. Dr. Fernando Mendes – Instituto Politécnico de Coimbra – Escola Superior de Saúde de Coimbra

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> Maria Tatiane Gonçalves Sá – Universidade do Estado do Pará

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. 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. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia

Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro  
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  
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

### **Linguística, Letras e Artes**

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Carolina Fernandes da Silva Mandaji – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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. 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. Dr. Alex Luis dos Santos – Universidade Federal de Minas Gerais  
Prof. Me. Aleksandro Teixeira Ribeiro – Centro Universitário Internacional  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Aline Ferreira Antunes – Universidade Federal de Goiás  
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Andrezza Miguel da Silva – Faculdade da Amazônia  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Anelisa Mota Gregoleti – Universidade Estadual de Maringá  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Anne Karynne da Silva Barbosa – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Antonio Hot Pereira de Faria – Polícia Militar de Minas Gerais  
Prof. Me. Armando Dias Duarte – Universidade Federal de Pernambuco  
Prof<sup>ª</sup> 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. Me. Christopher Smith Bignardi Neves – Universidade Federal do Paraná  
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  
Prof. Dr. Everaldo dos Santos Mendes – Instituto Edith Theresa Hedwing Stein  
Prof. Me. Ezequiel Martins Ferreira – Universidade Federal de Goiás  
Profª Ma. Fabiana Coelho Couto Rocha Corrêa – Centro Universitário Estácio Juiz de Fora  
Prof. Me. Fabiano Eloy Atilio Batista – Universidade Federal de Viçosa  
Prof. Me. Felipe da Costa Negrão – Universidade Federal do Amazonas  
Prof. Me. Francisco Odécio Sales – Instituto Federal do Ceará  
Profª Drª Germana Ponce de Leon Ramírez – Centro Universitário Adventista de São Paulo  
Prof. Me. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária  
Prof. Me. Givanildo de Oliveira Santos – Secretaria da Educação de Goiás  
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  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Lillian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Lilians Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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. Dr. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual do Paraná  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Luana Ferreira dos Santos – Universidade Estadual de Santa Cruz  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Luana Vieira Toledo – Universidade Federal de Viçosa  
Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Luma Sarai de Oliveira – Universidade Estadual de Campinas  
Prof. Dr. Michel da Costa – Universidade Metropolitana de Santos  
Prof. Me. Marcelo da Fonseca Ferreira da Silva – Governo do Estado do Espírito Santo  
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  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Maria Elanny Damasceno Silva – Universidade Federal do Ceará  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri  
Prof. Me. Pedro Panhoca da Silva – Universidade Presbiteriana Mackenzie  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Poliana Arruda Fajardo – Universidade Federal de São Carlos  
Prof. Me. Ricardo Sérgio da Silva – Universidade Federal de Pernambuco  
Prof. Me. Renato Faria da Gama – Instituto Gama – Medicina Personalizada e Integrativa  
Prof<sup>ª</sup> 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  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Silene Ribeiro Miranda Barbosa – Consultoria Brasileira de Ensino, Pesquisa e Extensão  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Taiane Aparecida Ribeiro Nepomoceno – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana  
Prof<sup>ª</sup> 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 de materiais e metalúrgica: tudo à sua volta 2

**Editora Chefe:** Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Antonella Carvalho de Oliveira  
**Bibliotecária:** Janaina Ramos  
**Diagramação:** Camila Alves de Cremona  
**Correção:** Giovanna Sandrini de Azevedo  
**Edição de Arte:** Luiza Alves Batista  
**Revisão:** Os Autores  
**Organizadores:** Henrique Ajuz Holzmann  
João Dallamuta

### Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

E57 Engenharia de materiais e metalúrgica: tudo à sua volta 2 / Organizadores Henrique Ajuz Holzmann, João Dallamuta. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2021.

Formato: PDF  
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader  
Modo de acesso: World Wide Web  
Inclui bibliografia  
ISBN 978-65-5706-962-2  
DOI 10.22533/at.ed.622210504

1. Engenharia. I. Holzmann, Henrique Ajuz (Organizador). II. Dallamuta, João (Organizador). III. Título.  
CDD 620

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

**Atena Editora**  
Ponta Grossa – Paraná – Brasil  
Telefone: +55 (42) 3323-5493  
[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)  
contato@atenaeditora.com.br

## DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa.

## APRESENTAÇÃO

A engenharia de materiais, se tornou um dos grandes pilares da revolução técnica industrial, devido a necessidade de desenvolvimento de novos materiais, que apresentem melhores características e propriedades físico-químicas. Grandes empresas e centros de pesquisa investem maciçamente em setores de P&D a fim de tornarem seus produtos e suas tecnologias mais competitivas.

Destaca-se que a área de material compreende três grandes grupos, a dos metais, das cerâmicas e dos polímeros, sendo que cada um deles tem sua importância na geração de tecnologia e no desenvolvimento dos produtos. Aliar os conhecimentos pré-existentes com novas tecnologias é um dos grandes desafios da nova engenharia.

Neste livro são explorados trabalhos teóricos e práticos, relacionados as áreas de materiais, dando um panorama dos assuntos em pesquisa atualmente. Apresenta capítulos relacionados ao desenvolvimento de novos materiais, com aplicações nos mais diversos ramos da ciência, bem como assuntos relacionados a melhoria em processos e produtos já existentes, buscando uma melhoria e a redução dos custos.

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. Sendo hoje que utilizar dos conhecimentos científicos de uma maneira eficaz e eficiente é um dos desafios dos novos engenheiros.

Boa leitura.

Henrique Ajuz Holzmann

João Dallamuta

## SUMÁRIO

### **CAPÍTULO 1..... 1**

#### **CARACTERIZAÇÃO MICROESTRUTURAL E PERFIL DE MICRODUREZA DE AÇO API 5L X80 OBTIDO POR PROCESSO TMCR**

Cláudio Beserra Martins Júnior  
Ana Larissa Soares Cruz  
Ermeson David dos Santos Silva  
Nicolas Moreira de Carvalho Gomes  
Vinícius Pereira Bacurau  
Maria das Dores Bandeira Barroso  
Rosilda Benício de Souza  
Edvânia Trajano Teó ilo

**DOI 10.22533/at.ed.6222105041**

### **CAPÍTULO 2..... 14**

#### **INFLUÊNCIA DA VARIAÇÃO DOS PARÂMETROS DE SOLDAGEM NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS E MICROESTRUTURA DO AÇO SAE 1035 PELO PROCESSO GMAW**

Charlon Widson Leite Costa  
José Costa de Macêdo Neto  
Adalberto Gomes de Miranda  
Luiz Antônio de Verçosa

**DOI 10.22533/at.ed.6222105042**

### **CAPÍTULO 3..... 29**

#### **INFLUÊNCIA DO TRATAMENTO TÉRMICO DE NORMALIZAÇÃO NA MICROESTRUTURA E PROPRIEDADES MECÂNICAS DO AÇO SAE 1035 UTILIZADO EM MOTOCICLETAS**

Andrews Raphael da Silva Vieira  
José Costa de Macêdo Neto  
Adalberto Gomes de Miranda  
Luiz Antônio de Verçosa  
Gilberto García Del Pino  
Reinaldo de Almeida Rodrigues  
Denise Andrade do Nascimento

**DOI 10.22533/at.ed.6222105043**

### **CAPÍTULO 4..... 40**

#### **INFLUÊNCIA DO TRATAMENTO CRIOGÊNICO PROFUNDO NAS TEMPERATURAS DE TRANSFORMAÇÃO DE FASE E NA ESTABILIZAÇÃO DA CAPACIDADE DE RECUPERAÇÃO DE FORMA DA LIGA Cu-14Al-4Ni COM EFEITO MEMÓRIA DE FORMA**

Marcelo Nava  
Emmanuel Pacheco Rocha Lima

**DOI 10.22533/at.ed.6222105044**

### **CAPÍTULO 5..... 63**

#### **ANÁLISE DE FALHA POR FRATURA EM PLACA NÃO ABSORVÍVEL PARA OSTEOSSÍNTESE**

Luís Eduardo da Cunha Ferro

Jorge de Souza e Silva Neto  
Daniel Kioshi Kawasaki Cavalcanti  
Rosemere de Araújo Alves Lima  
Marília Garcia Diniz

**DOI 10.22533/at.ed.6222105045**

**CAPÍTULO 6..... 76**

**PROTEÇÃO ANTICORROSIVA PARA ESTRUTURAS DE AÇO EM ATMOSFERAS INDUSTRIAIS E MARINHAS COM SISTEMA DE TINTA BASE AQUOSA ACRÍLICA**

Idalina Vieira Aoki  
Fernando Cotting  
Paulo Cezar Maziero Tiano

**DOI 10.22533/at.ed.6222105046**

**CAPÍTULO 7..... 92**

**COLORAÇÃO DO TITÂNIO COM LASER E RUGOSIDADE**

Luis Miguel Moncayo Morales  
Carlos Nelson Elias  
Francielly Moura de Souza Soares  
Dyanni Manhães Barbosa

**DOI 10.22533/at.ed.6222105047**

**CAPÍTULO 8..... 100**

**AVALIAÇÃO DE PROCESSOS DE CORROSÃO INFLUENCIADA MICROBIOLOGICAMENTE EM ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO**

Mariana Isabeli Valentim  
José Carlos Alves Galvão  
Karoline Caetano da Silva  
Rozane de Fatima Turchiello Gomez

**DOI 10.22533/at.ed.6222105048**

**CAPÍTULO 9..... 111**

**ANÁLISE DA RECUPERAÇÃO DE CROMO NA LAMA DE ACIARIA POR MEIO DE BRIQUETES AUTORREDUTORES À BASE DE CARBONO**

Raphael Mariano de Souza  
Diego Santa Rosa Coradini  
José Roberto de Oliveira

**DOI 10.22533/at.ed.6222105049**

**CAPÍTULO 10..... 120**

**RESPOSTA AO IMPACTO BALÍSTICO DE COMPÓSITOS DE ALUMINA-UHMWPE IRRADIADOS COM RAIOS GAMA**

André Ben-Hur da Silva Figueiredo  
Hélio de Carvalho Vital  
Ricardo Pondé Weber  
Édio Pereira Lima Júnior  
João Gabriel Passos Rodrigues  
Letícia dos Santos Aguilera

Ronaldo Sergio de Biasi

**DOI 10.22533/at.ed.62221050410**

**CAPÍTULO 11..... 133**

**INFLUÊNCIA DA TÉCNICA “TWO STEPS SINTERING” NA REDUÇÃO DA POROSIDADE DAS CERÂMICAS VERMELHAS**

André Lucas Reboli Pagoto

Valdi Antonio Rodrigues Junior

**DOI 10.22533/at.ed.62221050411**

**CAPÍTULO 12..... 138**

**COMPARAÇÃO ENTRE POLI (acrilonitrila-co-butadieno-co-estireno) (ABS) E POLIPROPILENO (PP). POR QUE POLÍMEROS COM ÍNDICE DE FLUIDEZ SIMILARES NÃO APRESENTAM O MESMO DESEMPENHO TÉRMICO E MECÂNICO?**

Rogério Massanori Sakahara

Wang Shu Hui

Daniel José da Silva

Luiz Henriques

**DOI 10.22533/at.ed.62221050412**

**CAPÍTULO 13..... 151**

**UMA SÍNTESE DOS AVANÇOS EM MATERIAIS COMPÓSITOS DE POLIURETANO NA REMOÇÃO DE ÓLEO DA ÁGUA**

Karen de França Gonçalves

Luiz Fernando do Nascimento Vieira

Ricardo Pondé Weber

Sergio Neves Monteiro

**DOI 10.22533/at.ed.62221050413**

**CAPÍTULO 14..... 164**

**FIBRA DE BAMBU: UMA NOVA ALTERNATIVA PARA COMPÓSITOS POLIMÉRICOS**

Bárbara Maria Ribeiro Guimarães

Marcelo Barbosa Furtini

Josy Antevêli Osajima

José Benedito Guimarães Junior

**DOI 10.22533/at.ed.62221050414**

**CAPÍTULO 15..... 174**

**MEMBRANAS DE QUITOSANA-BIOATIVO NATURAL PARA USO POTENCIAL COMO CURATIVOS**

Itamara Farias Leite

Wwandson Felipe Wanderley

Alanne Tamize de Medeiros Salviano

**DOI 10.22533/at.ed.62221050415**

**CAPÍTULO 16..... 187**

**SÍNTESE DE CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DE UMA MEMBRANA BIOLÓGICA**

**OBTIDA A PARTIR DA FIBROÍNA PRESENTE NO CASULO DO BICHO DA SEDA**

Ingrid Russoni de Lima

Mara Carolina do Carmo Paresque

Lucas Furtado Loesh Pereira

Bonifácio de Oliveira Fialho

Heleno Souza da Silva

Renata Antoum Simão

José Adilson de Castro

Gláucio Soares Fonseca

**DOI 10.22533/at.ed.62221050416**

**SOBRE OS ORGANIZADORES .....200**

**ÍNDICE REMISSIVO.....201**

## INFLUÊNCIA DO TRATAMENTO TÉRMICO DE NORMALIZAÇÃO NA MICROESTRUTURA E PROPRIEDADES MECÂNICAS DO AÇO SAE 1035 UTILIZADO EM MOTOCICLETAS

Data de aceite: 01/04/2021

### **Andrews Raphael da Silva Vieira**

Universidade Federal do Amazonas – UFAM  
Manaus – Amazonas  
<http://lattes.cnpq.br/7847124193712877>

### **José Costa de Macêdo Neto**

Universidade do Estado do Amazonas – UEA  
Manaus – Amazonas  
<http://lattes.cnpq.br/7868540287547126>

### **Adalberto Gomes de Miranda**

Universidade do Estado do Amazonas – UEA  
Manaus – Amazonas  
<http://lattes.cnpq.br/0031798088948641>

### **Luiz Antônio de Verçosa**

Universidade do Estado do Amazonas – UEA  
Manaus – Amazonas  
<http://lattes.cnpq.br/201311730320791>

### **Gilberto García Del Pino**

Universidade do Estado do Amazonas – UEA  
Manaus – Amazonas  
<http://lattes.cnpq.br/5604141021425108>

### **Reinaldo de Almeida Rodrigues**

Universidade do Estado do Amazonas – UEA  
Manaus – Amazonas  
<http://lattes.cnpq.br/6125399750002748>

### **Denise Andrade do Nascimento**

Universidade Federal de Roraima – UFRR  
Manaus – Amazonas  
<http://lattes.cnpq.br/3111593927291>

**RESUMO:** Os aços carbonos forjados são

largamente utilizados na fabricação de componentes para motocicletas produzidas no Polo Industrial de Manaus (PIM) e o seu desempenho em condições de usinagem, por exemplo, vem sendo melhorado através de um controle no processo de fabricação dessas peças que são forjadas. Neste sentido, os processos metalúrgicos que afetam o comportamento durante o processo de usinagem, vem sendo largamente estudados com objetivos de melhorar a eficiência nos processos utilizados. O objetivo é analisar a influência do tratamento térmico na microestrutura e propriedades entre amostras de aço SAE 1035 forjadas a quente, avaliando uma amostra normalizada após o processo de forjamento e outra não normalizada. Para a avaliação das diferenças, foram comparadas as microestruturas com caracterização do tamanho de grão ASTM, mapeamento de microdureza Vickers e análise de tensão residual na geometria da peça.

**PALAVRAS-CHAVE:** Forjamento. Normalização. Propriedades mecânicas. Microestrutura.

### INFLUENCE OF THERMAL TREATMENT OF STANDARDIZATION IN THE MICROSTRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES OF SAE 1035 STEEL USED IN MOTORCYCLES

**ABSTRACT:** Forged carbon steels are widely used in the manufacture of motorcycle components produced at the Manaus Industrial Pole (PIM) and their performance in machining conditions, for example, has been improved through a control in the manufacturing process of these parts that are forged. In this sense, the

metallurgical processes that affect the behavior during the machining process, have been widely studied with the objective of improving the efficiency in the processes used. The objective is to analyze the influence of heat treatment on the microstructure and properties between SAE 1035 hot forged steel samples, evaluating a standardized sample after the forging process and a non-standardized one. For the evaluation of the differences, the microstructures with characterization of the ASTM grain size, Vickers microhardness mapping and residual stress analysis in the part geometry were compared.

**KEYWORDS:** Forging. Normalization. Mechanical properties. Microstructure.

## 1 | INTRODUÇÃO

O objetivo de melhorar os processos de manufatura visando maior eficiência é uma preocupação constante nas empresas especificamente, indústrias metalmeccânicas que produzem componentes para setor de duas rodas. Devido à grande competitividade dos mercados, atualmente as empresas estão buscando reduzir seus custos por meio das melhorias da qualidade, flexibilidade, variedade de produtos e inovação (XU et al, 2012). A definição da matéria prima mais adequada ao projeto/processo, além dos meios produtivos (máquinas e equipamentos) são determinantes para se obter um resultado positivo, ou seja, o produto de forma eficiente (SILVA & NETO, 2012).

Neste contexto para definição de uma adequada matéria prima, faz-se necessário analisar as variáveis de cada processo de fabricação, em especial o processo de usinagem, pois trata-se de um dos mais importantes processos de fabricação, na qual ocorre remoção do excesso de material de uma peça inicial proveniente de processos anteriores como por exemplo o forjamento a quente (condições da matéria prima), que em alguns casos necessita de um tratamento térmico posterior, facilitando a usinagem. A forma geométrica final de uma peça usinada é obtida com excelente precisão dimensional, bons acabamentos superficiais e variedades de formas (GROOVER, 2014).

O processo de usinagem é considerado uma grandeza tecnológica que necessita de condições específicas para execução perfeita (DINIZ et al, 2014). Entre essas condições, destaca-se não somente os parâmetros e insumos de usinagem, como ferramentas de corte, velocidade de corte, fluidos refrigerantes, entre outros, mas também, propriedades dos materiais usinados como: dureza e tamanho de grão. Estas propriedades são influenciadas pelas operações anteriores à usinagem, que podem influenciar diretamente o processo de usinagem, gerando com isso uma baixa eficiência e um custo elevado na produção de peças. (DINIZ et al, 2014).

Operações como o forjamento a quente, requerem cuidados especiais, controle de temperatura e tempo de execução, consistindo normalmente, de reaquecimento e resfriamento controlado das peças, que muitas vezes, necessita de um tratamento térmico posterior, visando obtenção da microestrutura e propriedades adequada e, conseqüentemente, as propriedades mecânicas especificadas pelo produto (DIEHL,

2015). Esse tratamento posterior após o processo de forjamento a quente, geralmente é a normalização, no qual o objetivo é refinar a granulação grosseira de peças de aço fundido, laminado ou forjado. Os constituintes modificados da normalização são ferrita e perlita fina, ou cementita e perlita fina, dependendo da liga de aço utilizada no processo (CALLISTER, 2016).

Este trabalho teve o objetivo de realizar uma análise comparativa de microestruturas e propriedades mecânicas do aço SAE 1035 com e sem o tratamento térmico de normalização. Para a caracterização da microestrutura utilizou-se microscopia óptica digital e software para análise de imagem. As propriedades mecânicas foram obtidas por microdureza Vickers e método de obtenção da tensão superficial.

## 2 | MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Obtenção dos corpos de prova

As amostras foram retiradas da mesa inferior do componente que faz parte do sistema de suspensão dianteira de motocicletas 150cc, conforme mostrado na Figura 1.

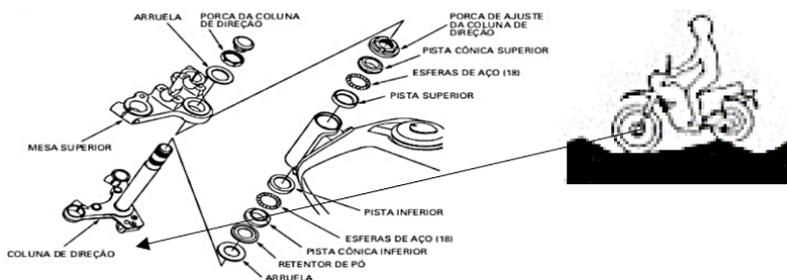


Figura 1. Componente do sistema de suspensão dianteira.

Fonte: Autor (2019).

A mesa inferior é obtida da liga de aço SAE 1035 de acordo com a composição química nominal mostrada na Tabela 1.

Elementos	C	Mn	P	S
Composição [%]	0.31-0.38	0.60-0.90	Máx. 0.040	Máx. 0.040

Tabela 1. Composição química da liga de aço SAE 1035.

Fonte: ASM HANDBOOK (2004).

O processo de fabricação para obtenção do componente é através de forjamento a quente, por meio de uma prensa hidráulica da marca PRESSTEC, modelo RPH-S 10MN – 80MN, a uma temperatura de processo: 1230 a 1280°C, para aquecimento de um tarugo com Ø33mm / 206mm de comprimento.

## 2.2 Ensaio metalográfico

Foram retirados dois corpos de provas, conforme Figura 2, de dois fornecedores diferentes. As amostras foram lixadas, polidas e atacadas com Nital 2% (ASTM E 340).

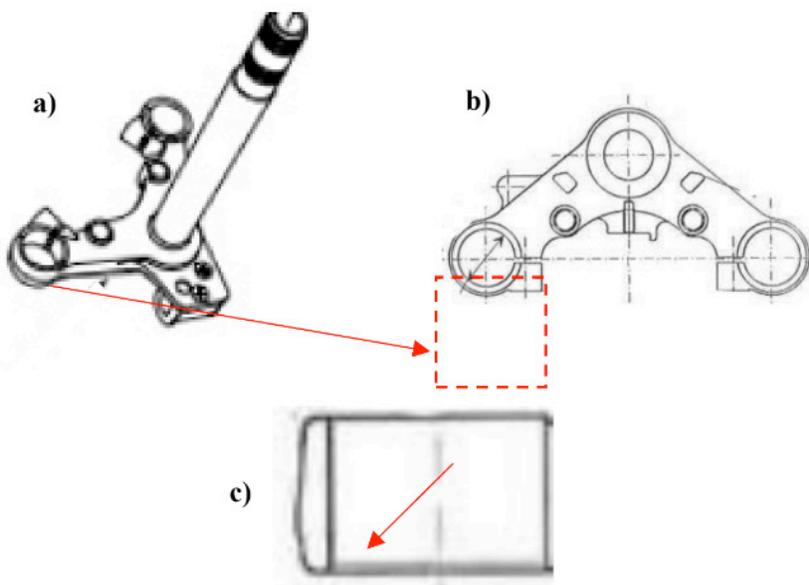


Figura 2 – Região da extração das amostras da mesa inferior para o ensaio metalográfico. a) Mesa inferior, b) Região do corte, c) seção cortada.

Fonte: Autor (2019).

A observação da microestrutura foi realizada por meio de um microscópio digital, da marca Keyence, modelo: VHX-700, com uma ampliação máxima de 3000X, Figura 3.



Figura 3. Microscópio digital metalográfico, VHX-700: monitor, teclado e console de controle foco e ampliação de imagens.

Fonte: Autor (2019).

O Microscópio digital metalográfico, VHX-700, conforme a Figura 3, possui um monitor onde são visualizadas as imagens metalográficas da peça, em que o operador utiliza o teclado para as descrições e formatações gráficas e imagens, bem como utiliza o console para controle do foco e ampliação das imagens.

### 2.3 Caracterização do tamanho de grão ASTM

A Norma ASTM E112 define diversos métodos de medição de tamanho médio de grão. O procedimento utilizado no presente estudo, foi o método planimétrico (método *Jeffries*), que consiste na contagem do número de grãos dentro de uma área conhecida, utilizando o *software* do microscópio: VHX-H3M3 – Keyence. A soma de todos os grãos incluídos completamente dentro da área conhecida ( $N_{inside}$ ) mais a metade do número de grãos cortados pela circunferência da área ( $N_{intercepted}/2$ ), resultando no número de grãos inteiros equivalentes ( $N_{Eq}$ ), medidos na ampliação utilizada e dentro da área. Multiplicando  $N_{Eq}$  pelo fator de *Jeffries* ( $f$ ), foi obtido o número de grãos por milímetro quadrado ( $N_A$ ), conforme Equação (1). O número de grãos ASTM ( $G$ ), foi calculado a partir de  $N_A$  (número de grãos por  $mm^2$  com ampliação 1X) utilizando a Equação (2).

$$N_A = f (N_{Eq}), \quad \text{sendo } N_{Eq} = N_{inside} + N_{intercepted}/2 \quad (1)$$

$$G = (3.321928 * \log_{10} * N_A) - 2.954 \quad (2)$$

## 2.4 Mapeamento de microdureza

Para a realização do mapeamento foi utilizado uma máquina de teste de microdureza da marca Mitutoyo, modelo HM-100, com software de medição AVPAK V.3.0, com lente objetiva de 500X, foi utilizada para medir a microdureza HV0.3, convertida através do software para dureza Rockwell B, ao longo do presente trabalho. O indentador na forma de uma pirâmide de base quadrada com um ângulo de 136° entre as faces opostas. As medidas foram realizadas sob uma força de 0,3 kgf de acordo com a norma ISO 6507-1.

## 2.5 Determinação da tensão residual

De uma maneira simples, entende-se por tensões residuais aquelas que permanecem agindo no material mesmo quando todas as forças externas são retiradas. Essas tensões possuem comportamento elástico, podendo ser benéficas ou não, às estruturas e equipamentos, dependendo de sua magnitude, sinal e distribuição (LU, 1996). O método utilizado para cálculo de tensão residual foi realizado de acordo com a teoria da elasticidade, a lei de *Hooke* estabelece que a tensão em uma dada direção ( $\sigma_x$ ) está relacionada com a deformação ( $\epsilon_x$ ) nessa mesma direção através do módulo de elasticidade (E), conhecido também como método do seccionamento, de acordo com Equação (3), de acordo com especificação técnica interna HGHA1-AAZ12-03.

$$TR = \frac{E * t(D_1 - D_0)}{(1 - \gamma^2) * D_0 * D_1} \quad (3)$$

Onde: E = Módulo de *Young* =2100 MPa (SAE 1035); t = Espessura média;  $D_0$  =  $\varnothing$  externo interno antes do corte;  $D_1$  =  $\varnothing$  externo interno após o corte;  $\gamma$  = Coeficiente de *Poisson* = 0,28 (SAE 1035).

A Figura 4 mostra como é realizado o teste de tensão residual na peça após a usinagem do rasgo de 3mm.

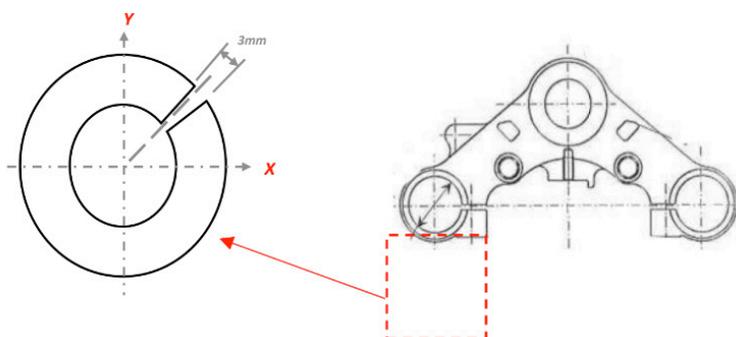


Figura 4. Área da peça onde realizou-se o teste de tensão residual.

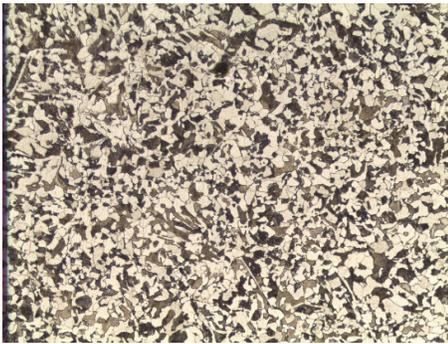
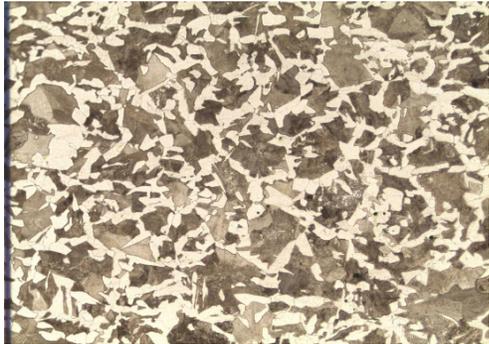
Fonte: Autor (2019).

## 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 Microestruturas

Devido ao componente para motocicleta analisado (SAE 1035) ser oriundo do processo de forjamento a quente, com temperatura de processo entre 1230 a 1280°C, durante o aquecimento, há uma crescente mobilidade atômica, um rearranjo da estrutura cristalina e conseqüentemente mudanças microestruturais como o crescimento de grão entre outras (VIGRAMAN et al, 2012).

Os resultados de caracterização do tamanho de grão podem ser vistos na Tabela 2, em que se comparou dois fornecedores (A e B). O fornecedor A possui processo de normalização após o forjamento e o fornecedor B não possui processo de normalização. Os tamanhos de grãos foram obtidos conforme ASTM E112, utilizando o método Planimétrico (*Jeffries*) e estão na faixa de 2,05 para a peça produzida no fornecedor A (com tratamento térmico de normalização) e de 5,01 para a peça produzida no fornecedor B (sem tratamento térmico de normalização). O maior valor de tamanho de grão encontrado na peça do fornecedor B, influencia diretamente na baixa eficiência no processo de usinagem realizado no material, pois verifica-se um maior consumo nas ferramentas de usinagem, elevando conseqüentemente o custo de fabricação.

Fornecedor A – Pç Normalizada	Fornecedor B – Pç Sem não Normalizada
	

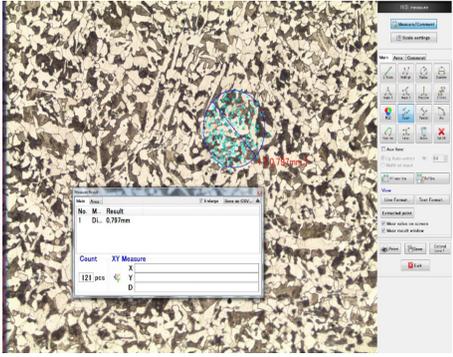
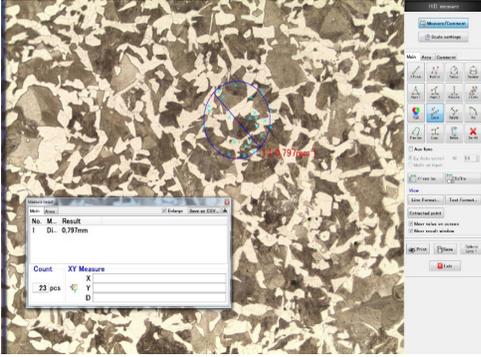
	
Grãos inteiro: 98	Grãos inteiro: 22
Grãos metade: 23	Grãos metade: 12
$N_A$ : 219	$N_A$ : 34
<b>N° ASTM (G): 5,01</b>	<b>N° ASTM (G): 2,05</b>
<b>Ø Médio do Grão: 63,4<math>\mu</math>m</b>	<b>Ø Médio do Grão: 1897,4<math>\mu</math>m</b>

Tabela 2- Resultados de determinação do tamanho de grão ASTM

Fonte: Autor (2020).

### 3.2 Propriedades mecânicas

Os valores das medidas de dureza podem ser observados na Figura 5. Analisando os valores de dureza demonstrados no gráfico, observa-se que a amostra submetida ao tratamento térmico de normalização após forjamento, fornecedor A, apresentou valores de dureza dentro da faixa (80 a 95 HRB) de projeto, conforme especificação técnica interna HGHA1-AAZ12-03. Entretanto, a amostra do fornecedor B, que não foi submetida ao processo de normalização após forjamento, ficou com dureza maior que o especificado. Diferentemente do que diz nas literaturas, neste experimento, as peças com tamanho de grão maior (G= 5.01) ficou com dureza maior do que a peça com granulação mais fina (G= 2,05), isso é explicado pelos menores tamanhos de grão ferrítico e maiores tamanhos de grão perlítico encontrados na amostra de maior granulação, fornecedor A (SILVA, 2007).

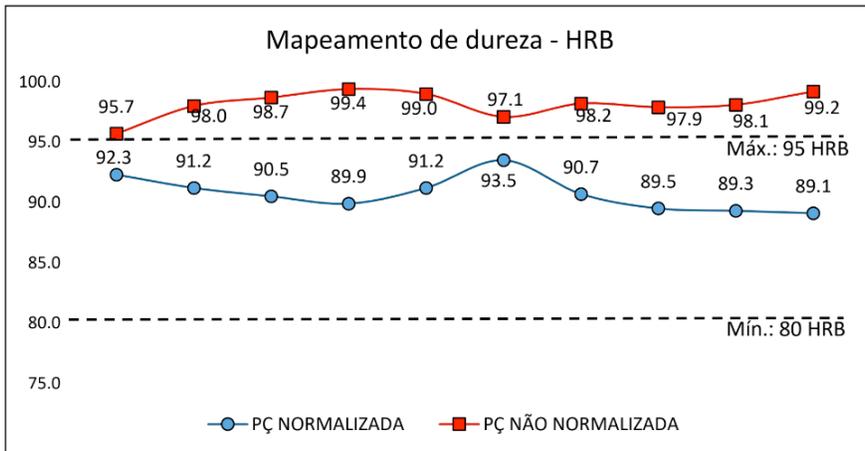


Figura 5. Gráfico comparativo entre as durezas das amostras.

Fonte: Autor (2019).

Um segundo o modelo estudado para determinação da tensão residual, é o caso de um tubo de paredes finas (relação entre diâmetro externo  $D_1$  e  $D_0$ ) submetido a um corte de 30 mm, tal como mostrado na Figura 4. Se um plano de corte é passado na seção diametral e horizontal da peça (Figura 6), é razoável admitir que as tensões atuantes nas faces que compõem o plano de corte serão normais, trativas e uniformes ao longo do seu comprimento  $l$ , ao passo que, por razão de simetria, não deverá haver tensões cisalhantes nestas faces.

Após o corte, em casos de tensões residuais na área de análise, haverá uma diminuição dos diâmetros  $D_1$  e  $D_0$  e um valor positivo de tensão após aplicação da Equação (3) (CARVALHO, 2013). Um valor negativo é encontrado para área da peça que não apresenta tensão residual, conforme demonstrado pelos valores encontrados na Tabela 3.

SEM NORMALIZAÇÃO				COM NORMALIZAÇÃO			
Pontos	$D_0$	$D_1$	t	Pontos	$D_0$	$D_1$	t
X	30,18	30,05	3,16	X	30,16	30,17	3,18
Y	30,19	30,02	3,17	Y	30,17	30,17	3,19
Média	30,19	30,04	3,17	Média	30,17	30,17	3,18
Tensão Residual (kgf/mm <sup>2</sup> )		12,10		Tensão Residual (kgf/mm <sup>2</sup> )		-0,40	

Tabela 3- Cálculo da tensão residual.

Fonte: Autor (2020).

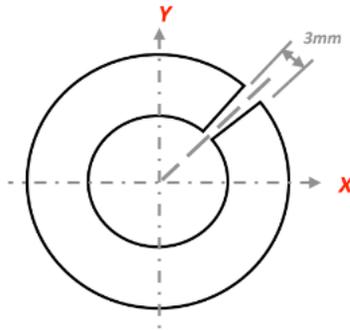


Figura 6. Área da peça onde realizou-se teste de tensão residual com corte de 3 mm.

Fonte: Autor (2019).

## 4 | CONCLUSÃO

Com base nos resultados desta pesquisa destacam-se as seguintes conclusões:

Os resultados obtidos através da análise microestrutural, verificou-se que amostra processada no fornecedor A passou pelo processo de normalização obtendo com isso um tamanho de grão  $G=5,01$ . Já amostra processada no fornecedor B, não passou pelo processo de normalização, obtendo-se com isso uma granulação grosseira  $G=2,05$ , afetando diretamente a eficiência do processo de usinagem com um maior consumo de ferramentas;

Essa dificuldade no processo de usinagem do material analisado também é possível confirmar através das propriedades mecânicas analisadas, onde evidenciou-se uma maior dureza nas peças de granulação grosseira e uma dureza dentro do especificado para peça com granulação mais fina. Diferentemente das literaturas encontradas, esse fenômeno ocorre devido a um menor tamanho de grão ferrítico e maior tamanho de grão perlítico na amostra com dureza mais alta;

Também foi analisado as tensões residuais da peça na área com maior dificuldade para usinagem, verificou-se que as amostras com maior tamanho de grão, também apresentaram maior valor na tensão residual, evidenciando o não tratamento após processo de forjamento.

## REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM E112-13: Standard Test Methods for Determining Average Grain Size**. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2016.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM E340-15: Standard Test Method for Macroetching Metals and Alloys**. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2015.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM A370-17A: Test methods and definitions for mechanical testing of steel products**. West Conshohocken: ASTM, 2017.

AMERICAN SOCIETY FOR METALS. **ASM Handbook: Vol. 9: Metallography and Microstructures**. Materials Park, Ohio, USA: ASM International, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM ISO 6507-1:2019: Vickers Hardness Test Part 1: Test Method**. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 6508-1:2019: Rockwell Hardness Test Part 1: Test Method**. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

BERI, N. et al. **Surface quality modification using powder metallurgy processed CuW electrode during electrical discharge machining of Inconel 718**. In: Material Science. Malásia: v.5, 2014. 2629-2634p.

CALLISTER JR., W. D.; RETHWISCH, D. G. **Ciência e Engenharia dos Materiais: Uma Introdução**. 9 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

CARVALHO, F. S. G. **Extrusão a quente de tubos: análise experimental da distribuição de tensões residuais na parede do tubo**. In: Universidade Federal de São João Del-Rei. São João Del-Rei - MG: UFSJ, 2013.

DIEHL, P. D. **Resfriamento controlado: uma alternativa à normalização em componentes forjados a quente**. Porto Alegre - RS: UFRS, 2015.

GROOVER, M. P. **Introdução aos Processos de Fabricação**. Rio de Janeiro: LTC, 2014.

DINIZ, A. E. MARCONDES, F. C.; COPPINI N. L. **Tecnologia da usinagem dos materiais**. 5 ed. São Paulo: Editora Artliber, 2014.

KALPAKJIAN, S. **Manufacturing engineering and technology**. 3 ed. Nova York: Adisson-Wesley Publishing, 1995. 450p.

LU, J. **Handbook of Measurements of Residual Stresses**. In: Society for Experimental Mechanics (US). Editora Fairmont Pr, 1996. 253p.

MACHADO, A. R. et al. **Teoria da usinagem dos materiais**. São Paulo: Blucher, 2009. 384p.

SILVA, H. R. **Efeito do tamanho de grão ultrafino nas propriedades mecânicas do aço Nb-Ti laminado a morno seguido de recozimento intercrítico e subcrítico**. Minas Gerais: UFMG, 2007.

SILVA, R. A., NETO, A. F. **Estudo da microestrutura do aço SAE 1045 para a melhoria da usinabilidade. Uma proposta para a gestão dos processos de usinagem**. In: The 4th International Congress on University-Industry Cooperation, Taubaté-SP: 2012.

VIGRAMAN, T., NARAYANASAMY, R., RAVINDRAN, D. **Microstructure and mechanical property evaluation of diffusion-bonded joints made between SAE 2205 steel and AISI 1035 steel**. In: Elsevier, Materials & Design. Amsterdam - Holanda: v.35, 2012. 156-169p.

XU, Y, ELGH, E., ERKOYUNCU, J. A., BANKOLE, O., GOH, Y., CHEUNG, W. M., BAGULEY, P., WANG, Q., ARUNDACHAWAT, P., SHEHAB, E., NEWNES, L., ROY, R. **Cost Engineering for manufacturing: Current and future research**. In: International Journal of Computer Integrated Manufacturing. Londres: v.25, n.4-5, 2012. 300-314p.

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Aciação elétrica 111, 119  
Aço inoxidável 28, 63, 64, 68, 74, 111, 112, 113  
Aços ARBL 1, 2  
Ambientes agressivos 76, 89

### B

Bambu 164, 166, 167, 168, 169, 170, 171, 172  
Blindagem balística 120

### C

Cicatrização 67, 174, 175, 181, 182  
Coloração 92, 93, 94, 95, 96, 176, 179, 193  
Compactação 133  
Compósito 120, 122, 123, 124, 125, 130, 165, 166, 167, 168, 169, 170, 172  
Corrosão 64, 69, 70, 71, 73, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 92, 93, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 109, 110, 200

### E

Efeito memória 40, 41, 47, 51, 58, 59, 60, 61  
Esponjas de poliuretano 151

### F

Fadiga 63, 64, 69, 70, 71, 72, 73, 74  
Fibras 153, 164, 165, 166, 167, 168, 169, 170, 172, 173, 189  
Fibroína 187, 188, 189, 190, 191, 192, 193, 194, 195, 196, 197, 198, 199

### I

Impacto 24, 120, 121, 122, 124, 129, 130, 134, 138, 139, 141, 144, 145, 146, 149, 156, 164

### L

Liofilização 187, 188, 190, 191, 193, 198, 199

### M

Membranas 174, 176, 177, 178, 179, 180, 181, 182, 184, 185, 186, 190, 191, 192, 193, 194, 195, 198, 199  
Metálica 16, 79, 100, 102, 118, 165

Microdureza 1, 2, 4, 5, 7, 8, 14, 16, 19, 20, 22, 23, 26, 28, 29, 31, 34, 40, 42, 47, 56, 57, 58, 59, 63

Microestrutura 2, 3, 4, 6, 7, 8, 10, 12, 13, 14, 15, 23, 24, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 39, 42, 46, 50, 59, 65, 149

MIG 14, 15, 16, 17, 27, 28

## **O**

Óleo de rã 174, 176, 177, 178, 179, 180, 181, 184

Óxido de Ti 92

## **P**

Penetração de solda 14, 25, 26

Prótese femoral 63

## **Q**

Quitosana 174, 175, 176, 177, 178, 179, 180, 181, 183, 184, 185, 186, 199

## **R**

Recuperação 40, 41, 47, 48, 58, 59, 60, 111, 113, 116, 117, 118, 119

Redução 9, 3, 6, 7, 40, 48, 51, 58, 59, 60, 67, 100, 111, 112, 113, 117, 118, 133, 139, 141, 149

Remoção de óleo 151

Resíduos 107, 111, 112, 119, 151, 160, 166, 175

Resíduos siderúrgicos 111

Resina 164, 167, 169, 170, 172

Revestimento acrílico 76

Rota térmica 133

Rugosidade 79, 92, 94, 95, 96, 97, 98, 154, 155, 192

## **T**

Temperatura 3, 15, 23, 24, 26, 30, 32, 35, 41, 46, 47, 48, 49, 51, 54, 76, 85, 97, 102, 103, 114, 116, 122, 123, 133, 135, 136, 137, 138, 139, 156, 166, 167, 169, 176, 177, 178, 185, 191

Tintas 76, 77, 78, 79, 85

Tratamento criogênico 40, 41, 48, 59, 60

Tratamento de esgoto 100, 102, 106, 109, 110

# Engenharia de Materiais e Metalúrgica: Tudo à sua Volta

## 2

-  [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)

# Engenharia de Materiais e Metalúrgica: Tudo à sua Volta

## 2

-  [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)