

# 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. Liliani 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**

## 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?

Data de aceite: 01/04/2021

Data de submissão: 03/03/2021

### Rogério Massanori Sakahara

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo  
São Paulo, SP, 05508-030, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/3378077040598834>

### Wang Shu Hui

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo  
São Paulo, SP, 05508-030, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/7984507949644750>

### Daniel José da Silva

Universidade Federal do ABC  
Santo André, SP - Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/9671509103246537>

### Luiz Henriques

CPE - Compostos Plásticos de Engenharia  
São Paulo, SP, 02712-120, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/0135929109373851>

**RESUMO:** Polímeros de acrilonitrila-butadieno-estireno (ABS) apresentam um excelente equilíbrio entre as propriedades de rigidez e tenacidade quando comparados com polímeros tradicionais utilizados na área de transformação por injeção, como o polipropileno (PP). Neste trabalho, alguns ABS oriundos de diferentes tecnologias de polimerização (emulsão e massa) são analisados por microscopia de força atômica (AFM) e correlações são feitas com as suas propriedades mecânicas e térmicas, tais como módulo de flexão, temperatura de

distorção térmica (HDT) e resistência ao impacto Izod. Diferenças em processabilidade foram também avaliados e resultados de taxa de fluxo em fusão (melt flow rate - MFR) e de teste de preenchimento de fluxo em espiral em molde de injeção (*spiral melt flow test*) foram comparados. Também foram incluídas três amostras de PP neste estudo, uma vez que são largamente utilizados. As amostras de ABS apresentam uma gama superior de propriedades térmicas e mecânicas em comparação com as amostras de PP. No entanto, as amostras de PP superam as blendas de ABS na moldagem por injeção, de acordo com os resultados do preenchimento em espiral. Neste trabalho também foi possível demonstrar que a tecnologia do processo de produção e a distribuição da fase polibutadieno na matriz SAN são fatores muito importantes para diferenciação dos tipos de ABS comerciais, uma vez que são responsáveis pelas propriedades e características diferenciadas observadas.

**PALAVRAS-CHAVE:** ABS, polipropileno, morfologia, propriedades mecânicas, mfr.

### COMPARISON BETWEEN POLY (acrylonitrile-co-butadiene-co-styrene) (ABS) AND POLYPROPYLENE (PP). WHY POLYMERS WITH SIMILAR MELT FLOW RATE DO NOT HAVE THE SAME THERMAL AND MECHANICAL PERFORMANCE?

**ABSTRACT:** Acrylonitrile-butadiene-styrene polymers (ABS) present an excellent balance between the rigidity and toughness properties when compared to traditional polymers processed by injection, such as polypropylene (PP). In

this work, some ABS originated from different polymerization technologies (emulsion and mass) are analyzed by atomic force microscopy (AFM), and correlations are made with their mechanical and thermal properties, such as flexural modulus, heat distortion temperature (HDT) and Izod impact resistance. Processability differences were also evaluated by melt flow rate (MFR) and spiral flow filling in injection mold tests . Three samples of PP were also included in this study since they are widely used. ABS samples have a higher range of thermal and mechanical properties compared to PP samples. However, PP samples outperform ABS blends in injection molding, according to the spiral filling test results. In this work, it was also possible to demonstrate that the technology used in the production process and the distribution of the polybutadiene phase in the SAN matrix are significant factors for the differentiation of the commercial ABS types, since they are responsible for the different properties and characteristics observed.

**KEYWORDS:** ABS, polypropylene, morphology, AFM, mechanical properties, mel flow properties.

## 1 | INTRODUÇÃO

Apesar de seu custo mais elevado quando comparado com polímeros mais comuns como o polipropileno, o ABS é amplamente conhecido por sua versatilidade e ainda leva muita vantagem devido ao seu melhor balanço de propriedades: rigidez versus ductilidade. Trata-se de um polímero de engenharia amorfo com sistema multifásico composto por fase particulada de borracha (polibutadieno - PB) distribuída em uma matriz contínua de copolímero (polímero de acrilonitrila e estireno - SAN ) (Figura 1). Sua composição química tem faixas percentuais próprias e varia entre 15 a 35% de acrilonitrila, 40 a 50% de estireno e 5 a 30% de borracha de butadieno (BR ou PB). Essencialmente, a proporção de PB no ABS é responsável pelo aumento da flexibilidade e da resistência ao impacto, bem como pela redução da temperatura de transição vítrea,  $T_g$ , tornando-o mais versátil para aplicações a baixas temperaturas (Figura 1). O diagrama na Figura 1 apresenta resumidamente a influência relativa dos componentes do ABS nas suas propriedades físicas e químicas. Incrementando-se a proporção de estireno no ABS promove-se uma maior rigidez e processabilidade, enquanto o aumento da acrilonitrila resulta, conseqüentemente, em maior resistência química e resistência a altas temperaturas.

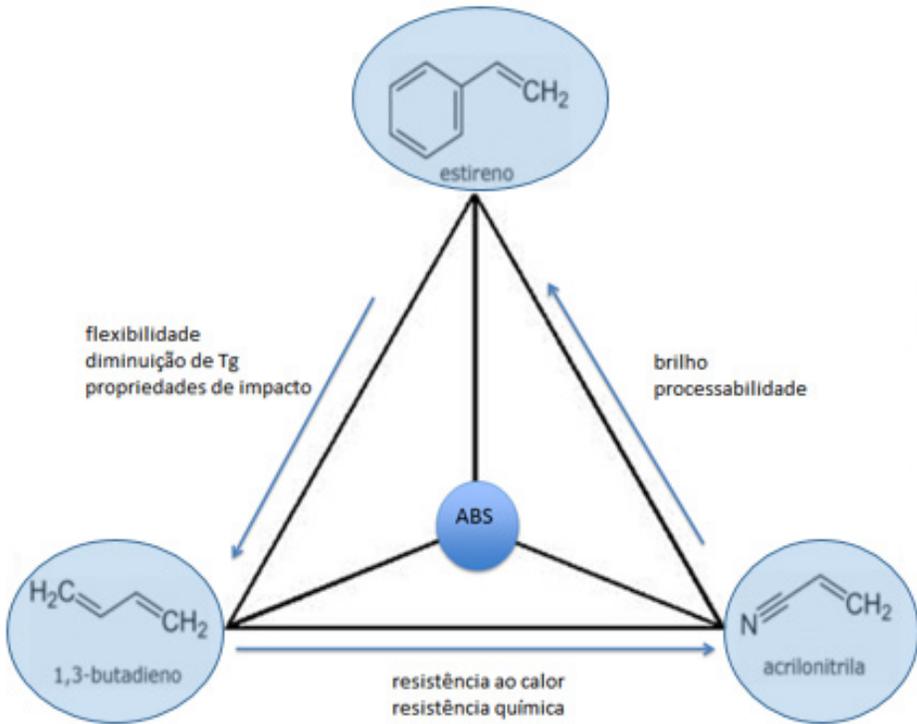


Figura 1 – Efeitos da composição química nas propriedades do ABS [10]

Além disso, as resinas de ABS são essencialmente produzidas por dois processos de polimerização, emulsão e em massa [1-3], que conferem características bastante distintas, uma vez que cada uma delas desenvolve morfologias únicas. A polimerização em emulsão é realizada em duas etapas; preparação de partículas PB seguida pela adição de uma mistura de estireno e acrilonitrila dentro da emulsão e copolimerização, que também forma uma camada de enxerto nas partículas de PB. O processo em emulsão gera melhores graus de brilho quando comparado ao ABS produzido pela tecnologia de massa, pois produz uma dispersão mais fina de partículas de borracha na matriz SAN. No entanto, a polimerização em massa, que envolve também duas etapas, preparação prévia de PB particulado, seguida pela dispersão das partículas de PB pré-formadas na mistura de estireno e acrilonitrila e polimerização, é capaz de produzir produtos de resistência ao calor superior e cor mais clara (menos amarelado) do que por polimerização em emulsão. Com relação à morfologia da fase dispersa, na polimerização em massa ocorre uma grande quantidade de inclusões de copolímero de estireno-acrilonitrila nas partículas de PB (acima de 50%), enquanto para os tipos de ABS sintetizados por polimerização em emulsão, este percentual de inclusões é mais baixo (em torno de 10%) [3].

Neste trabalho, oito diferentes tipos de ABS comerciais são analisados por

microscopia de força atômica e ensaios de resistência mecânica e térmica. Os resultados são analisados no intuito de observar a influência da morfologia no comportamento mecânico do ABS. Além disso, três diferentes tipos de polipropileno (PP) foram incluídos na análise de fluidez em fusão, pois tanto o ABS quanto o PP são amplamente utilizados na fabricação de muitas peças e artefatos produzidos pelo processo de injeção. É objetivo deste trabalho tentar discutir a correlação entre as propriedades tecnológicas macroscópicas desejáveis nos materiais de emprego cotidiano e a influência da morfologia presente nos sistemas poliméricos multifásicos.

## 2 | PARTE EXPERIMENTAL

Para a análise da morfologia, as amostras foram preparadas em meio crioscópico a  $-140\text{ }^{\circ}\text{C}$  e a observação foi efetuada utilizando um microscópio de força atômica (AFM) (Nanoscope V Bruker-Veeco) acoplado a uma sonda de silicone TESP-SS (com extremidade de raio na faixa de  $2 - 10\text{ nm}$  e força constante de  $60\text{ Nm}^{-1}$ ), utilizando-se o software 7.300R1SR1 e as imagens foram obtidas utilizando-se uma lente com capacidade de resolução de  $512 \times 512$  e geração de imagens a  $20\mu\text{m}$  (Leica EMFC6). A escala amarelo-marrom das imagens indica redução gradual da dureza e/ou densidade da região, incluindo os defeitos no plano da superfície. Para os ensaios mecânicos, todos os corpos de prova foram preparados por moldagem por injeção utilizando-se uma máquina Arburg de acordo com ASTM D3641-12 e ASTM D4101-10. Os ensaios de impacto Izod foram realizados a  $23\text{ }^{\circ}\text{C}$ , conforme ASTM D256-5A, utilizando-se o equipamento Ceast Resil Impactor (pêndulo de  $4\text{ J}$  e corpos de prova de dimensões  $12,7 \times 65 \times 3,14\text{ mm}$ ). O módulo de flexão foi obtido em conformidade com a ASTM D790-07 utilizando-se uma máquina universal Instron 4204 com célula de carga  $1\text{ kN}$  e corpos de prova de dimensões  $128,8 \times 12,8 \times 3,16\text{ mm}$ . A fluidez das amostras fundidas foi determinada utilizando o ensaio de taxa de fluidez do fundido (melt flow rate – MFR,  $T = 230\text{ }^{\circ}\text{C}$  e carga =  $2,16\text{ kg}$ ) de acordo com o método ASTM D 1238 e o teste de fluxo em espiral (“spiral flow” = resultado de preenchimento da cavidade do molde em espiral) de acordo com o método ASTM D 3123 (injetados a  $T_{\text{fundido}} = 250\text{ }^{\circ}\text{C}$  e pressão =  $800\text{ bar}$ , e molde padrão a  $T_{\text{molde}} = 150\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).

A análise de variância de dois fatores (ANOVA *two-way*) e o teste de Tukey foram aplicados para avaliar estatisticamente a diferença significativa entre as propriedades medidas das amostras, utilizando o programa Origin (versão 2016) e nível de confiança de 95%.

## 3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

Oito tipos de ABS de fornecedores distintos e três de PP foram utilizados neste estudo (Tabela 1). Por questões de confidencialidade, o nome dos fornecedores foram substituídos por letras e os códigos comerciais foram substituídos por números

subsequentes (por exemplo, os fornecedores A e B contribuíram com dois tipos cada e o fornecedor D contribuiu com a doação de três tipos de ABS). Na Tabela 1 são apresentadas as informações de MFR e a respectiva tecnologia de processo de produção avaliada pela análise morfológica.

<b>Amostra</b>	<b>MFR<sup>a)</sup> [g.10min<sup>-1</sup>]</b>	<b>Técnica de polimerização<sup>c)</sup></b>
ABS A1	6,3	Emulsão
ABS A2	0,1	Emulsão
ABS B1	1,1	Emulsão
ABS B2	2,3	Emulsão
ABS C	21	Emulsão
ABS D1	6,5	Massa
ABS D2	10	Massa
ABS D3	15	Massa
PP <sup>b)</sup>	0,9	Não aplicável para o estudo
PPH	23	Não aplicável para o estudo
PPC	26	Não aplicável para o estudo

<sup>a)</sup>Condição do ensaio 230 °C e 2,16 kg (ASTM D1238); <sup>b)</sup>tipo de PP com baixíssimo fluxo de fundido; <sup>c)</sup>Tecnologia de polimerização inferida através da avaliação da morfologia feita por AFM (Figura 2).

Tabela 1: MFR de ABS e PP analisados e respectiva tecnologia de produção do ABS.

A Figura 2 mostra as micrografias feitas por AFM. Os locais mais escuros, com menor densidade, mostram locais de existência da fase borracha dispersa na matriz SAN mais clara. A polimerização em duas etapas produz o ABS contendo duas fases imiscíveis, SAN e PB, que estão organizados em uma fase matriz vítrea contendo uma fase borrachosa dispersa, respectivamente. Entretanto, devido à sua formação a partir da segunda etapa de polimerização, a mistura de monômeros se dissolve também no interior das partículas de PB, formadas na primeira etapa, levando, então à formação da estrutura fase-dentro-de-fase das partículas dispersas.

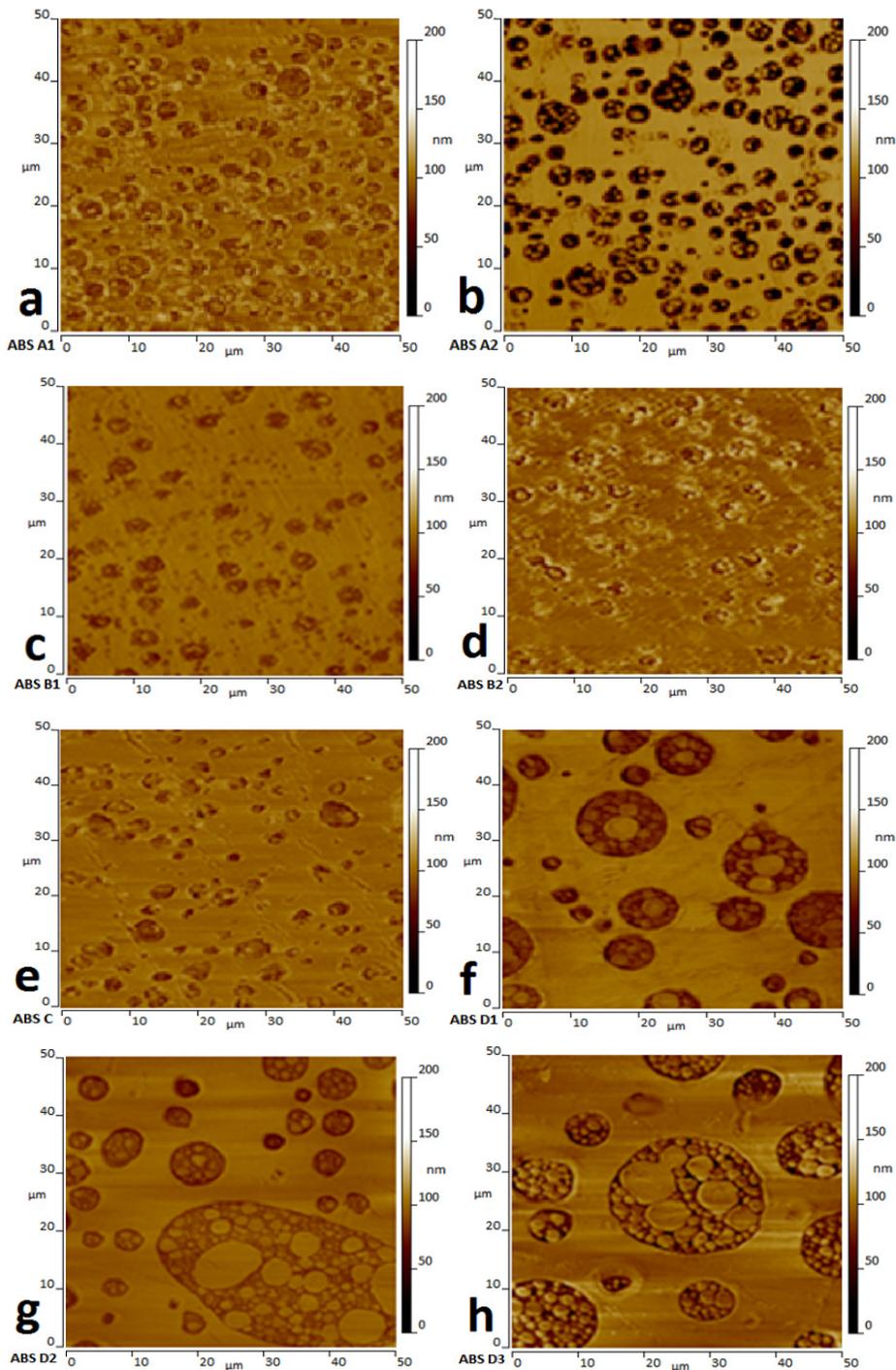


Figura 2 – Micrografias das amostras de ABS: (a) ABS A1, (b) ABS A2, (c) ABS B1, (d) ABS B2, (e) ABS C, (f) ABS D1, (g) ABS D2 e (h) ABS D3. [10]

As partículas pré-formadas de PB utilizadas na polimerização em massa são maiores comparadas àquelas da polimerização em emulsão, estas com dimensões micelares que incham na segunda etapa da polimerização.

A partir da análise morfológica é possível inferir o processo de polimerização de cada uma das amostras (Tabela 1). As resinas ABS A (A1 e A2), B (B1 e B2) e C provavelmente foram preparadas por polimerização em emulsão, indicada pelos menores tamanhos das partículas de PB uniformemente distribuído na matriz SAN, enquanto as resinas D (D1, D2 e D3) pela tecnologia de massa. Neste tipo de polimerização, além da grande variação dos tamanhos das partículas de PB dispersas na matrix SAN, os tamanhos são significativamente maiores e tendem a apresentar no seu interior numerosas inclusões menores de domínio SAN (Figura 2).

A tecnologia de emulsão tem a característica de gerar produtos de ABS com alto brilho, enquanto a tecnologia de massa produz tipos com baixo brilho e mais claros (esbranquiçados). Isto pode ser explicado pela interação da luz com a qualidade da superfície contendo as partículas maiores ou menores que o comprimento da luz visível incidente, gerando assim estas características específicas de espalhamento ou reflexão especular, respectivamente. Em relação às propriedades mecânicas, a composição e a proporção da fase borracha (PB) na matriz SAN desempenham um papel importante, além da forma de produção do ABS. Estes fatores contribuem para diferenças na interação entre as fases rígida e flexível e nas propriedades macroscópicas observadas, ainda que a proporção direciona fortemente as propriedades físicas do ABS.

A Figura 3 apresenta o módulo de flexão e a resistência ao impacto Izod a 23 °C para amostras estudadas em comparação com as amostras de PP. Os valores de módulo de flexão são comparáveis, com ligeira vantagem para alguns tipos de ABS, enquanto os valores de resistência a impacto Izod de todos os tipos de ABS são definitivamente superiores àqueles determinados para todos os dois tipos de PP. As amostras de ABS apresentam um equilíbrio superior de propriedades mecânicas em comparação às amostras de PP.

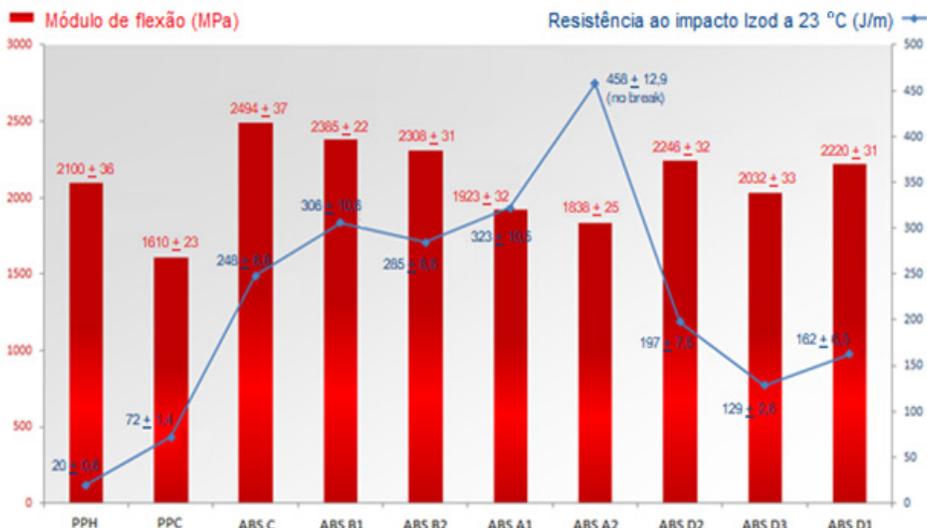


Figura 3 – Módulo de flexão à 23°C das amostras de ABS e PP e respectivas resistência ao impacto Izod à 23°C em J/m. PPH e PPC referem-se a PP homopolímero e copolímero, respectivamente. [10]

É interessante observar que o módulo de flexão observado para o ABS e o PP encontra-se na faixa de 1,8 GPa a 2,5 GPa e de 1,6 GPa a 2,1 GPa, respectivamente. Em geral, as amostras de ABS apresentam maior rigidez que o PP copolímero, podendo chegar a uma diferença superior a 20 % na resistência mecânica em flexão entre estes dois grupos de polímeros.

Por outro lado, os resultados de resistência ao impacto Izod aprofundaram as diferenças entre os dois grupos, observando-se diferenças grandes, faixa de 20 J/m a 72 J/m para os PPs e 129 J/m a 458 J/m para as amostras de ABS. Esses resultados mostram claramente a superioridade do ABS quanto à resistência ao impacto.

O mecanismo de falha mecânica em plásticos é explicado pelo desenvolvimento e propagação de trinca e pela deformação plástica resultante do efeito do cisalhamento dentro da matriz sob carga. No entanto, em taxas elevadas de deformação e de tensões como ocorre em testes de impacto, a propagação da falha ocorre pelo mecanismo de fissura e fibrilação próximas da região das trincas, enquanto que em taxas de deformação mais baixas, característica dos ensaios de tração, bem como de flexão, a ruptura ocorre como consequência do escoamento por cisalhamento [4,5]. No primeiro caso, o mecanismo de tenacificação e a capacidade de dissipação de energia de curto alcance é dominante, em contraste com o segundo caso, no qual ocorre resposta à tensão pelo escoamento coordenado de trechos das cadeias poliméricas, o que também é incrementado em matrizes poliméricas tenacificadas.

A presença de uma fase de borracha na matriz vítrea polimérica permite a

dissipação de energia mecânica frequentemente por cavitação de partículas de borracha, em condições de elevadas solicitações mecânicas. No entanto, as amostras ABS D1, ABS D2 e ABS D3 apresentam partículas de PB com muitas inclusões de SAN. Essas inclusões desarranjam a cavitação das partículas de PB para dissipação de energia [6], de modo que a matriz estará sujeita a tensões superiores à crítica que leva à formação de trincas. Assim, ABS oriundo da polimerização em massa é mais propenso ao desenvolvimento de fissuras na matriz como principal mecanismo de resistência, enquanto nos ABS preparados por polimerização em emulsão, a cavitação das partículas de borracha aparece antes da deformação plástica da matriz [6-8]. Nesta condição, ocorre dissipação de energia pelo cisalhamento dos segmentos de cadeia localizados na interfase partícula-matriz bem como pela fratura das partículas de PB por cavitação, que prevalecem antes da deformação plástica da matriz SAN.

Aparentemente, as amostras ABS A1, ABS B1, ABS B2 e ABS C apresentaram resistências ao impacto Izod semelhantes. No entanto, uma análise minuciosa pelo teste de Tukey (Tabela 2) mostra que há diferenças significativas entre a resistência ao impacto entre todas as amostras. Na Tabela 2, os sinais = e ≠ significam que as propriedades são estatisticamente iguais e diferentes, respectivamente, com nível de confiança de 95 %. O teste Tukey é uma ferramenta estatística que possibilita realizar comparações diretas para identificar se há diferenças entre as propriedades entre amostras ou entre grupos de amostras com uma mesma característica (e.g., técnica de polimerização), através de um método de interação entre pares.

Interação (polímero - polímero)	Módulo de flexão	Resistência ao impacto Izod	HDT	Spiral flow	MFR
<b>ABS/Emulsão – ABS/Emulsão</b>					
ABS A2 - ABS A1	≠	≠	=	≠	≠
ABS B2 - ABS A1	≠	≠	≠	=	≠
<b>ABS/Massa – ABS/Emulsão</b>					
ABS D2 - ABS A1	≠	≠	≠	≠	=
ABS D1 - ABS B1	≠	≠	≠	=	≠
<b>ABS/Massa – ABS/Massa</b>					
ABS D1 - ABS D2	=	≠	≠	≠	≠

\*As demais amostras de ABS e PP (não descritas nesta tabela) apresentam todas as propriedades significativamente diferentes.

Tabela 2: Lista de polímeros que apresenta pelo menos uma propriedade estatisticamente igual, segundo teste de Tukey.

As diferenças entre as resistências ao impacto entre os tipos de ABS (Fig. 3 e Tab. 2) são justificadas pelas suas diferentes morfologias identificadas por microscopia AFM

(Figura 2). ABS A1 e ABS A2 apresentaram partículas pequenas e distribuição de tamanho de partícula mais estreita e maior fração de PB em comparação com ABS B1, ABS B2 e ABS C. O desempenho do ABS A2 em comparação com o ABS A1 pode ser explicado pela fração relativa de PB, uma vez que a cor mais escura nessas micrografias AFM se refere à presença de PB, embora o tamanho e a quantidade das partículas nas imagens pareçam ser similares [9].

Na Figura 4 são mostradas as temperaturas de deflexão térmica (HDT) das amostras. Os vários tipos de ABS apresentam resultados bastante semelhantes e superam os resultados das amostras de PP [10]. O desempenho em HDT resulta de uma combinação de rigidez e resistência térmica (Tab. 2). Ambas as características, módulo de flexão e HDT, no ABS são incrementadas com a concentração relativa da fase SAN, entretanto em sistemas multifásicos a rigidez varia com a morfologia presente, embora seja proporcional ao módulo elástico.

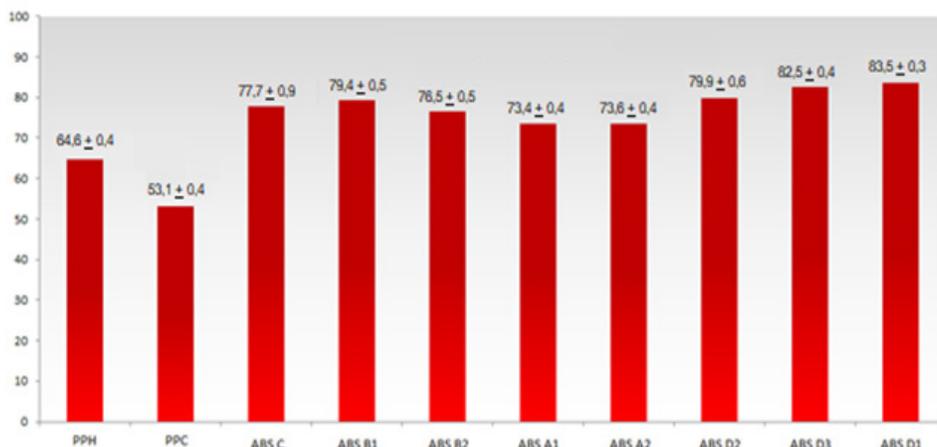


Figura 4 – Resultados de HDT a 1,82 MPa expressado em °C. PPH e PPC referem-se a PP homopolímero e copolímero, respectivamente. [10]

Nos testes no estado fundido, o desempenho das amostras para a moldagem por injeção foi avaliado usando o teste de fluxo em espiral (Figura 5), no qual é medido a facilidade com que o material fundido preenche um molde padronizado contendo uma cavidade em espiral. A medição da taxa de fluidez do fundido (MFR) foi feita de acordo com o método ASTM D 1238 (Tabela 1 e Figura 5). Os valores de MFR observados para PP variaram entre 0,92 e 26,1 g/10min, enquanto para ABS foram de 0,10 a 21,2 g/10min, ambos tipos de polímeros cobrindo ampla faixa de MFR ou viscosidade. Por outro lado, quando ensaiadas em teste de fluxo em espiral, as amostras de PP apresentaram valores elevados e um intervalo relativo pequeno de 36,9 a 50,1 cm, enquanto para ABS, variaram

de 18,8 a 33,1 cm, valores significativamente inferiores àqueles do PP e num intervalo relativo maior; ou seja, aparentemente, sob taxas de cisalhamento elevadas praticadas no teste, as amostras de ABS apresentam afinamento por cisalhamento limitado e o polímero fundido apresenta fluxo em injeção comparativamente baixo em relação ao PP. Pode-se verificar que as amostras de ABS, apesar de apresentarem um equilíbrio superior nas propriedades mecânicas e térmicas em comparação com as amostras de PP, as amostras de PP claramente apresentam uma processabilidade melhor que o ABS na moldagem por injeção, de modo que mesmo o PP com MFR de 0,92 g/10min apresenta fluxo em espiral maior que as amostras ABS B1, ABS B2 e ABS A1, cujos MFR são um pouco maiores, 1,12; 2,29; e 6,26 g/10min, respectivamente. Igualmente, as amostras PPH e ABS C apresentaram MFR similares, 23,1 e 21,2 g/10min, respectivamente, entretanto os valores de fluxo em espiral foram bastante distintos, 47,9 e 29,2 cm, respectivamente para estas amostras.

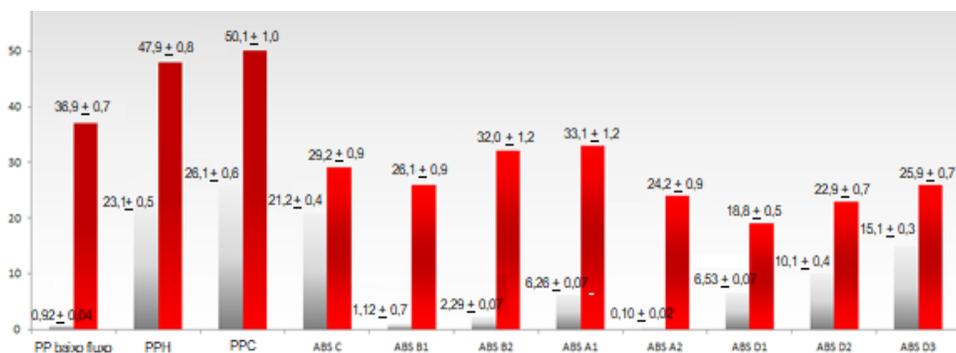


Figura 5 – Resultados em cm de preenchimento da cavidade em espiral na injeção à 250 °C (*spiral flow*) (em vermelho) e de MFR (230 °C e 2,16 kg) em g/10min (em cinza) para as amostras de PP e ABS. PP baixo fluxo, PPH e PPC referem-se a PP homopolímero de baixo MFR, homopolímero e copolímero, respectivamente. [10]

Os resultados de MFR e de fluxo na injeção mostram que, nas amostras de ABS, o comportamento da viscosidade é guiado pela matriz SAN e também pela morfologia da fase dispersa e o seu comportamento complexo sob fluxo de cisalhamento. Observa-se que os tipos de ABS se comportaram de forma bastante complexa a ponto de não indicar dois grupos distintos conforme a tecnologia empregada na sua preparação: polimerização em massa, contendo grandes partículas de PB com inclusões de SAN; e polimerização em emulsão apresentando partículas de PB menores e mais uniformes. No entanto, o teste de Tukey (Tabela 3) indica que, além de haver diferença significativa entre as propriedades mecânicas, temperaturas de deflexão térmica e fluidez do fundido entre estes dois grupos de ABS, os polipropilenos homopolímero e copolímero apresentam comportamento mecânico

e reológico do fundido significativamente diferentes que se deve as diferenças na estrutura química que alteram o comportamento reológico destas poliolefinas.

Interação (polímero/polimerização)	Módulo de flexão	Resistência ao impacto Izod	HDT	<i>Spiral flow</i>	MFR
ABS/Massa – ABS/Emulsão	≠	≠	≠	≠	≠
PPH – ABS/Emulsão	≠	≠	≠	≠	≠
PPH – ABS/Massa	≠	≠	≠	≠	≠
PPC – ABS/Emulsão	≠	≠	≠	≠	≠
PPC – ABS/Massa	≠	≠	≠	≠	≠
PPC – PPH	≠	≠	≠	≠	≠

Tabela 3: Teste de Tukey para as propriedades dos polímeros (por técnica ou tipo de polimerização).

Devido à morfologia complexa do copolímero ABS, observa-se que altas taxas e tensões de cisalhamento sobre o fundido induzem deformações elásticas e plásticas da microestrutura formada pelas partículas de PB, e redução, concomitante, da tensão de cisalhamento sobre a massa fundida como um todo, ainda que nas condições do ensaio as amostras de ABS se comportem como fluidos não-newtonianos típicos. Ou seja, um aumento acentuado na tensão de cisalhamento não tem efeito apenas sobre a viscosidade do fundido, ao contrário do que geralmente é verificado em polímeros com apenas uma fase homogênea como o PP.

## 4 | CONCLUSÕES

Oito amostras distintas de ABS e três amostras de PP foram avaliadas neste estudo. Com a caracterização da morfologia por AFM, foi possível diferenciar as amostras de ABS em termos de processos de polimerização, em massa e em emulsão, pois apresentam diferenças em tamanhos de partículas dispersas, bem como seu aspecto microestrutural. O teste de Tukey indica que há diferença significativas nas propriedades mecânicas, térmicas e fluxo do fundido, que permitem distinguir os diferentes tipos de ABS. As propriedades das amostras sólidas de ABS comparadas àquelas do PP, são evidentemente melhores, indicando potencial de desempenhos superiores em serviço. Quanto à moldabilidade por injeção, em contrapartida, o ABS mostrou-se pior, explicado em parte pela sua morfologia complexa, em que a massa fundida sob alta tensão de cisalhamento, sofrerá rearranjos das partículas dispersas de PB e, conseqüentemente, a viscosidade não apresenta grande mudança devido a afinamento por cisalhamento.

## REFERÊNCIAS

- [1] G. Odian, *Principles of Polymerization*, John Wiley & Sons, New York, USA **2004**.
- [2] N. Zhang, X. X. Bao, Z. Y. Tan, S. L. Sun, C. Zhou, H. D. Yang, H. X. Zhang, *J. Appl. Polym. Sci.* **2007**, *105*, 1237.
- [3] V. E. Dreval', G. B. Vasil'ev, E. K. Borisenkova, V. G. Kulichikhin, *Polym. Sci. Ser. A* **2006**, *48*, 338.
- [4] C. R. Bernal, P. M. Frontini, M. Sforza, M. A. Bibbó, *J. Appl. Polym. Sci.* **1995**, *58*, 1.
- [5] Z. Yu, Y. Li, Y. Wang, L. Yang, Y. Liu, Y. Li, Z. Li, Z. Zhao, *Polym. Eng. Sci.* **2010**, *50*, 961.
- [6] G. F. Giacconi, L. Castellani, C. Maestrini, T. Ricco, *Polymer* **1998**, *39*, 6315.
- [7] L. Castellani, R. Frassine, A. Pavan, M. Rink, *Polymer* **1996**, *37*, 1329.
- [8] J. B. Seo, S. S. Kim, C. H. Han (LG Chem. Ltd.), *U.S. Patent 7,132,474 B2*, **2006**.
- [9] G. Krämer, M. Griepentrog, E. Bonaccorso, B. Cappella, *Eur. Polym. J.* **2014**, *55*, 123.
- [10] R. M. Sakahara, W. S. Hui; L. Henriques, Avaliação comparativa de algumas resinas de ABS tendo como referência o polipropileno, 15° CBPol - Congresso Brasileiro de Polímeros, 2019, Bento Gonçalves – RS – Brasil

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