

# 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. Alexandro 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 Anteveli 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**

# CAPÍTULO 10

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

Data de aceite: 01/04/2021

Data de submissão: 05/01/2021

### **André Ben-Hur da Silva Figueiredo**

Instituto Militar de Engenharia  
Rio de Janeiro – RJ  
<http://lattes.cnpq.br/8195743233435647>

### **Hélio de Carvalho Vital**

Centro Tecnológico do Exército  
Rio de Janeiro – RJ  
<http://lattes.cnpq.br/1523360054081589>

### **Ricardo Pondé Weber**

Instituto Militar de Engenharia  
Rio de Janeiro – RJ  
<http://lattes.cnpq.br/4148488718320073>

### **Édio Pereira Lima Júnior**

Instituto Militar de Engenharia  
Rio de Janeiro – RJ  
<http://lattes.cnpq.br/593070981122256>

### **João Gabriel Passos Rodrigues**

Instituto de Macromolécula Profa. Heloísa  
Mano - UFRJ  
Rio de Janeiro – RJ  
<http://lattes.cnpq.br/7613264178011849>

### **Letícia dos Santos Aguilera**

Instituto Militar de Engenharia  
Rio de Janeiro – RJ  
<http://lattes.cnpq.br/4630865510856546>

### **Ronaldo Sergio de Biasi**

Instituto Militar de Engenharia  
Rio de Janeiro – RJ  
<http://lattes.cnpq.br/6179004286433720>

**RESUMO:** A absorção de energia em ensaio balístico de compósitos de alumina-polietileno de ultra alto peso molecular (UHMWPE) com 60, 80 e 90% wt% de alumina submetidos a doses de radiação gama de 25, 50 e 75 kGy foi investigada. Os testes balísticos foram realizados em velocidade subsônica em sistema de ar comprimido. Os resultados mostraram que o compósito com 80% de alumina irradiado com 50 kGy apresenta os melhores resultados balísticos. Os resultados do teor de gel, calorimetria exploratória diferencial (DSC) e difração de raios X (DRX) mostraram que este compósito é o que apresenta a maior concentração de reticulações e a menor fração volumétrica de UHMWPE amorfo. Imagens de microscopia eletrônica de varredura (MEV) do mesmo compósito mostraram um alto pullout, sugerindo que a irradiação gama aumenta a adesão entre a alumina e o UHMWPE.

**PALAVRAS-CHAVE:** Blindagem balística, impacto balístico, compósito alumina-UHMWPE, irradiação gama

### BALLISTIC TESTS OF ALUMINA- UHMWPE COMPOSITES SUBMITTED TO GAMMA RADIATION

**ABSTRACT:** The energy absorption in ballistic tests of alumina-ultra high molecular weight polyethylene (UHMWPE) composites with 60, 80 and 90% wt% Al submitted to gamma radiation doses of 25, 50 and 75 kGy was investigated. The ballistic tests were carried out at subsonic speed using a compressed air system. The results showed that the composite with 80% Al irradiated with 50 kGy yields the best ballistic results. Gel content, Differential scanning calorimetry (DSC)



and X-ray diffraction (XRD) results showed that this composite is the one with the highest concentration of crosslinks and the lowest volume fraction of amorphous UHMWPE. Scanning electron microscopy (SEM) images of the same composite showed a high pullout, suggesting that gamma irradiation increases the adhesion between alumina and UHMWPE.

**KEYWORDS:** Ballistic shielding, ballistic impact, alumina-UHMWPE composite, gamma irradiation

## 1 | INTRODUÇÃO

No início do século 21, apesar da ausência de conflitos internacionais na escala das duas guerras mundiais, conflitos locais e regionais envolvendo diferentes tribos, grupos étnicos, milícias, gangues e traficantes fortemente armados tornaram-se uma séria ameaça em várias partes do mundo.

Os coletes de proteção balística usam tecido de aramida como uma única camada de proteção. Esta proteção é limitada a impactos relativamente baixos, munição de até 9 mm. A proteção contra projéteis de alto impacto requer um sistema blindagem multicamada (SBM) (LUZ *et al.*, 2015). Um SBM convencional possui, além do tecido de aramida, uma camada frontal de cerâmica que absorve a maior parte da energia do impacto, erodindo a ponta do projétil. Porém, tal proteção aumenta o custo e compromete a mobilidade do soldado devido ao aumento significativo do peso do colete. Além disso, a camada frontal pode ser fragmentada ao primeiro impacto, comprometendo sua resistência aos disparos subsequentes.

Os principais materiais cerâmicos usados para proteção balística são alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), carbetto de silício (SiC) e carbetto de boro ( $\text{B}_4\text{C}$ ). A alumina tem sido sugerida para proteção balística devido às boas propriedades físicas e químicas. No entanto, a baixa resistência à flexão e baixa tenacidade à fratura significam que o uso de alumina pura para proteção balística pode levar a uma falha catastrófica. Além disso, a alta densidade, em torno de  $4\text{g}/\text{cm}^3$ , limita seu uso em aplicações onde o peso é fundamental, como coletes balísticos (CAVALLARO, 2011; CARLUCCI and JACOBSON, 2008).

De acordo com Figueiredo *et al.* 2018, compósitos de alumina-UHMWPE podem render um bom compromisso entre alta absorção de energia e baixa densidade, sendo o único problema a baixa adesão entre as partículas de alumina e a matriz polimérica (MADHU *et al.*, 2005). A adesão pode ser aumentada pela exposição dos compósitos à radiação gama (NEVES *et al.*, 2013; LIMA and ARAUJO, 1997), que tem outros efeitos favoráveis, como aumento da rigidez e estabilidade, conforme relatado por Shafiq. *et al.* 2013. Por outro lado, de acordo com Hobbs *et al.* 1994, altas doses de radiação geram microfissuras que enfraquecem o componente alumina.

O objetivo deste trabalho foi investigar as propriedades da alumina irradiada com radiação gama-UHMWPE, a fim de determinar a melhor combinação de concentração de alumina e dose de radiação para aplicações de proteção balística. O UHMWPE é utilizado

para diminuir a densidade e aumentar a resistência à flexão, tornando o escudo mais adequado para proteção pessoal e evitando fratura após o primeiro tiro (COUTINHO *et. al.*, 2003; SENATOV *et. al.*, 2014). Há também um fator econômico envolvido, visto que o compósito é preparado a uma temperatura relativamente baixa, 230 °C, enquanto a alumina pura deve ser preparada sinterizando pó de alumina em altas temperaturas, da ordem de 1400 °C, procedimento de alto custo (MEDVEDOVSKI, 2006; MEDVEDOVSKI, 2010; MEDVEDOVSKI, 2010; SPIEGELBERG, 2009).

## 2 I MATERIAIS E MÉTODOS

Os materiais usados foram 60 Mesh Alundum em pó com dureza de 9,25 Mohs (Fisher Scientific) e UHMWPE Mipelon PM-200 em pó de 10  $\mu\text{m}$  a 30  $\mu\text{m}$  de diâmetro (Mitsui Chemicals).

Compósitos com diferentes proporções de massa de alumina-UHMWPE foram preparados por mistura mecânica por 10 min e rotulados A00/00, A00/25, A00/50, A00/75, A60/00, A60/25, A60/50, A60/75, A80/00, A80/25, A80/50, A80/75, A90/00, A90/25, A90/50 e A90/75, onde o primeiro número é a concentração de massa de alumina em porcentagem (00 é uma amostra UHMWPE puro usado para comparação). O segundo número é a dose de radiação em kGy (00 é a amostra não irradiada). As amostras foram produzidas em forma de discos de 5 mm de espessura e 51 mm de diâmetro. Os discos foram prensados a 230 °C por 10 min sob uma força de 90 kN e mantidos em formas de alumínio fundido.

A irradiação gama dos compósitos foi realizada usando um irradiador Gammacell 220 Excel com uma fonte Co-60.

Para os testes de balística foi utilizado um rifle Gunpower SSS com supressor de ruído Padrão Armas. O projétil é de chumbo de calibre 22 com uma massa estimada de 3,3 g. Um cronógrafo balístico Air Chrony modelo MK3, com precisão de 0,15 m/s, foi utilizado para medir a velocidade de impacto, e um cronógrafo balístico ProChrono modelo Pal, com precisão de 0,31 m/s, para medir a velocidade residual.

O rifle de ar foi posicionado a 5 m do alvo, consistindo no disco composto fixado em uma moldura de alumínio, preso por uma morsa e alinhado perpendicularmente ao rifle. Um cronógrafo balístico foi posicionado a 10 cm do bico do supressor de ruído e outro foi colocado a 10 cm atrás do alvo.

A energia absorvida pelo alvo foi calculada usando a equação

$$E_{\text{abs}} = m_p(v_i^2 - v_r^2)/2 \quad (1)$$

em que  $m_p$  é a massa do projétil,  $v_i$  é a velocidade de impacto e  $v_r$  é a velocidade residual (AZEVEDO and ARAGÃO, 2010).

Tendo em conta que no caso da proteção individual o peso pode ser um fator

importante, pode-se definir uma figura de mérito dada pela seguinte equação:

$$FM = E_{abs}/m \quad (2)$$

em que  $m_c$  é a massa do compósito.

O teor de gel mostra a quantidade de reticulação nas amostras. Foi determinado de acordo com ASTM D2765 usando um dispositivo Soxhlet (SPIEGELBERG, 2009). As amostras foram extraídas com xileno aquecido por 6 h e, posteriormente, lavadas com acetona e secas a 140 °C. O teor de gel percentual foi determinado usando a seguinte expressão:

$$\text{Conteúdo de gel} = (W_f/W_o) \times 100\% \quad (3)$$

em que  $W_o$  e  $W_f$  são, respectivamente, o peso da amostra antes e depois da extração.

A análise de calorimetria de varredura diferencial (DSC) foi realizada com um calorímetro Netzch DSC 404 F1 Pegasus. As medidas foram realizadas com aquecimento e resfriamento de 10 °C min<sup>-1</sup> sob nitrogênio (50 mL min<sup>-1</sup>). As amostras foram aquecidas da temperatura ambiente a 180 °C e resfriadas a 50 °C e reaquecidas a 180 °C. A temperatura de fusão e a porcentagem de cristalinidade foram determinadas apenas para a primeira fusão e cristalização. A porcentagem de cristalinidade  $X_c$  foi calculada usando a seguinte expressão:

$$X_c = \Delta H_o / \Delta H_m \times 100\% \quad (4)$$

em que  $\Delta H_o$  e  $\Delta H_m$  são, respectivamente, a entalpia de fusão do polietileno cristalino (290 Jg<sup>-1</sup>) e a entalpia de fusão da amostra.

As amostras sinterizadas foram caracterizadas por Difração de Raios-X (DRX) em um difratômetro X'PERT PRO PANalítico, com radiação monocromática (Cu K $\alpha$ ,  $\lambda = 1,5406 \text{ \AA}$ ), passo de 0,05° s<sup>-1</sup>, tempo por passo 150s e 2' entre 10° e 90°. Os padrões de XRD foram refinados usando o método Rietveld, com a ajuda do software TOPAS Academic versão 4.1.

Após os testes balísticos, as imagens dos compósitos com 80% de alumina foram obtidas em um FEI Quanta FEG 250 SEM.

### 3 | RESULTADO E DISCUSSÃO

Todos os tiros penetraram completamente nos discos. Dois disparos foram feitos em cada experimento e oito experimentos foram realizados para cada composição. Amostras representativas são mostradas na Figura 1 após o primeiro tiro.

Nenhuma diminuição significativa na absorção de energia foi observada após o primeiro tiro.

Como o teste foi realizado com as amostras nos suportes de alumínio fundido, o movimento lateral foi suprimido, reduzindo o dano ao compósito (SHERMAN, 2000; BITTENCOURT, 2009).

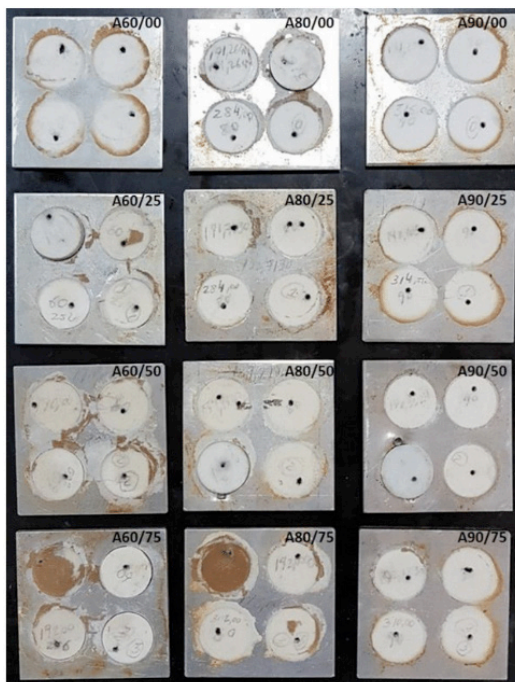


Figura 1 – Amostras A60/00, A60/25, A60/50, A60/75, A80/00, A80/25, A80/50, A80/75, A90/00, A90/25, A90/50 e A90/75 após o primeiro tiro, organizadas em linhas de cima para baixo.

A Tabela 1 mostra os valores médios da massa do compósito ( $m_c$ ), massa do projétil ( $m_p$ ), velocidade média de impacto ( $v_i$ ), velocidade média residual ( $v_r$ ), energia de absorção ( $E_{abs}$ ) e fator de mérito (FM) para cada composição. Como esperado, o  $m_c$  aumenta com o aumento da concentração de alumina.

COMPÓSITOS	$m_c$ (g)	$m_p$ (g)	$V_i$ (m/s)	$V_r$ (m/s)	$E_{abs}$ (J)	$FM$ ( $10^3$ J/kg)
A60/00	16,50 ± 0,10	3,29 ± 0,23	251,51 ± 2,59	219,15 ± 2,91	25,01 ± 0,86	1,52 ± 0,04
A60/25	15,50 ± 0,09	3,27 ± 0,24	250,91 ± 2,68	211,53 ± 1,45	29,73 ± 1,30	1,92 ± 0,07
A60/50	17,50 ± 0,12	3,25 ± 0,12	250,98 ± 2,31	216,79 ± 2,74	25,89 ± 0,86	1,48 ± 0,04
A60/75	16,00 ± 0,08	3,27 ± 0,14	251,24 ± 2,57	226,24 ± 2,66	19,44 ± 0,83	1,22 ± 0,05
A80/00	23,18 ± 0,11	3,25 ± 0,13	250,13 ± 2,22	211,91 ± 2,26	28,67 ± 1,04	1,24 ± 0,04
A80/25	25,07 ± 0,13	3,30 ± 0,25	247,66 ± 2,59	212,52 ± 2,63	26,60 ± 0,68	1,06 ± 0,02
A80/50	26,02 ± 0,08	3,27 ± 0,20	248,87 ± 2,66	112,93 ± 8,12	64,96 ± 2,51	2,50 ± 0,09
A80/75	27,50 ± 0,11	3,24 ± 0,21	253,71 ± 2,57	212,52 ± 2,93	31,01 ± 0,70	1,13 ± 0,02
A90/00	31,20 ± 0,08	3,29 ± 0,18	248,39 ± 2,44	202,01 ± 2,75	34,28 ± 0,72	1,10 ± 0,02
A90/25	30,47 ± 0,15	3,29 ± 0,28	248,03 ± 2,93	209,70 ± 2,29	28,92 ± 0,95	0,95 ± 0,03
A90/50	30,57 ± 0,13	3,27 ± 0,18	251,44 ± 2,58	216,71 ± 3,08	26,47 ± 0,89	0,87 ± 0,03
A90/75	29,33 ± 0,09	3,31 ± 0,24	246,53 ± 2,06	208,71 ± 2,74	28,44 ± 0,83	0,97 ± 0,03

Tabela 1 - Resultados médios dos testes balísticos.

A Figura 2 mostra o FM dos compósitos com diferentes concentrações de alumina e doses de radiação. Percebe-se que o melhor compromisso entre alta absorção de energia e baixo peso foi apresentado pelo compósito com 80% de alumina irradiado com 50 kGy.

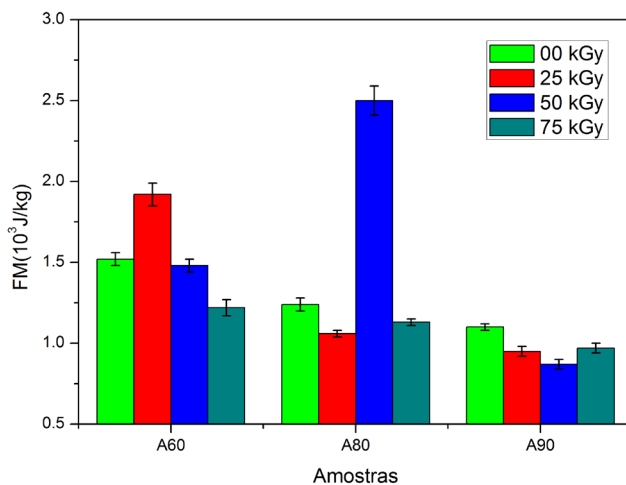


Figura 2 - Fator de mérito de compósitos com concentração de 60%, 80% e 90% de alumina, não irradiados e irradiados com 25 kGy, 50 kGy e 75 kGy

A Tabela 2 mostra o teor de gel de UHMWPE, não irradiado e irradiado com gama nas doses de 25 kGy, 50 kGy e 75 kGy. O maior teor de gel foi para as amostras irradiadas com uma dose de 50 kGy, sugerindo que a concentração de reticulações é máxima para

esta dose de radiação. A diminuição do conteúdo do gel para uma dose maior de radiação é atribuída à degradação do UHMWPE, formando radicais livres.

Amostra	Conteúdo de gel (%)
A00/00	91,20
A00/25	97,37
A00/50	100,00
A00/75	99,69

Tabela 2 - Conteúdo de gel de UHMWPE, não irradiado e irradiado com doses de 25 kGy, 50 kGy e 75 kGy.

As análises DSC foram realizadas durante a primeira fusão e cristalização. As amostras irradiadas com 50 kGy apresentaram os maiores valores de cristalinidade, sendo que entre elas o maior valor foi o da amostra 80/50.

Amostras	$T_{\text{onset}}$ (°C)	$T_{\text{máx}}$ (°C)	$T_{\text{end}}$ (°C)	$\Delta H_{\text{fusion}}$ (J/g)	Crystalinidade (%)
A60/00	128,8	139,4	145,7	53,02	45
A60/25	127,9	139,7	146,3	68,97	59
A60/50	128,6	142,9	152,0	103,10	88
A60/75	128,7	141,4	148,7	77,91	66
A80/00	128,5	140,4	147,5	37,97	65
A80/25	130,3	141,7	148,6	44,36	76
A80/50	129,2	142,1	148,1	56,21	96
A80/75	129,6	140,9	147,4	45,54	78
A90/00	126,8	136,4	143,2	15,17	52
A90/25	130,0	138,5	144,5	21,30	73
A90/50	129,4	139,1	145,6	24,86	85
A90/75	130,9	140,7	147,2	23,38	80

Tabela 3 - Resultados médios de DSC.

As amostras com 80% de alumina foram investigadas posteriormente devido ao bom desempenho balístico apresentado pela amostra com 80% de alumina irradiada com 50 kGy. O objetivo era determinar por que o desempenho balístico aumentou com a dose de radiação de até 50 kGy, mas diminuiu quando a dose de radiação foi aumentada para

75 kGy.

A Figura 3 mostra os padrões de XRD das amostras A80/00, A80/25, A80/50 e A80/75. Exceto por um pico largo em pequenos ângulos atribuídos ao UHMWPE amorfo, apenas os picos de difração de  $\alpha$ -alumina e UHMWPE são vistos, mostrando que não houve transformação de fase devido à irradiação gama.

Na Figura 4, pode-se observar que a amplitude de uma banda larga passa por um mínimo para uma dose de radiação de 50 kGy. Isso sugere que a cristalinidade do UHMWPE aumenta com o aumento da dose de radiação até 50 kGy, mas diminui para doses de radiação maiores.

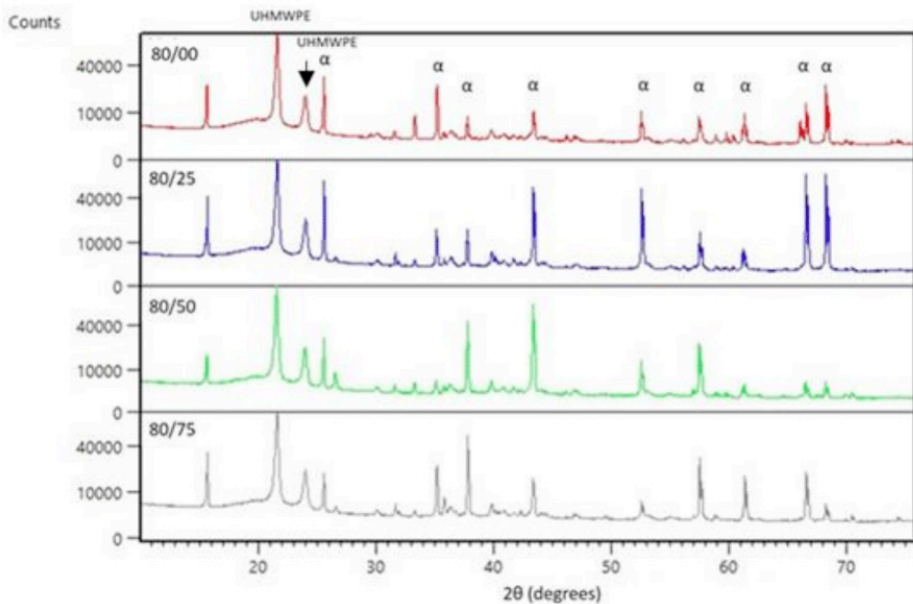


Figura 3 - Padrões de XRD de amostras A80/00, A80/25, A80/50, A80/75.

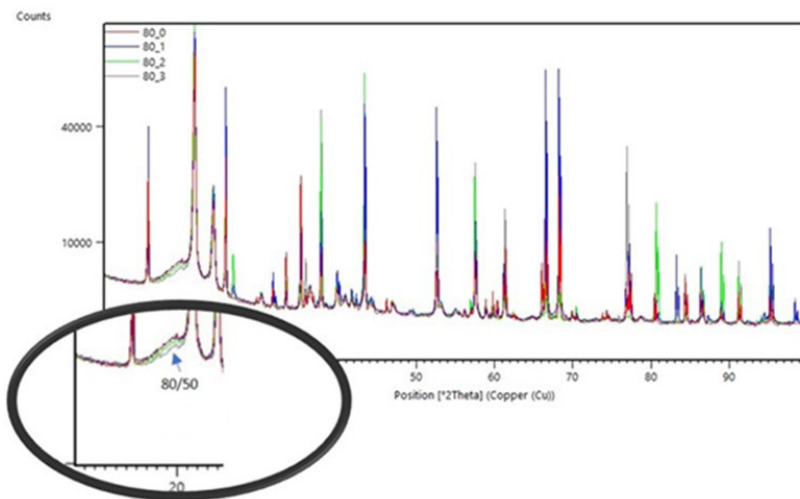


Figura 4 - Padrões de XRD sobrepostos de XRD de amostras A80/00, A80/25, A80/50, A80/75.

A Figura 5 mostra vistas ampliadas de partes dos padrões de difração apresentados na Figura 4. No caso do pico de UHMWPE, há um deslocamento significativo para a esquerda para a amostra submetida a uma dose de radiação de 50 kGy. Isso é atribuído a um relaxamento devido ao aumento da cristalinidade e é consistente com a diminuição da amplitude da banda larga na Figura 4. No caso dos picos de alumina, há um deslocamento para a direita nas amostras irradiadas com 25 e 75 kGy. No primeiro caso, a compressão pode ser devida à perda de água e no segundo a microtrincas induzidas por radiação.

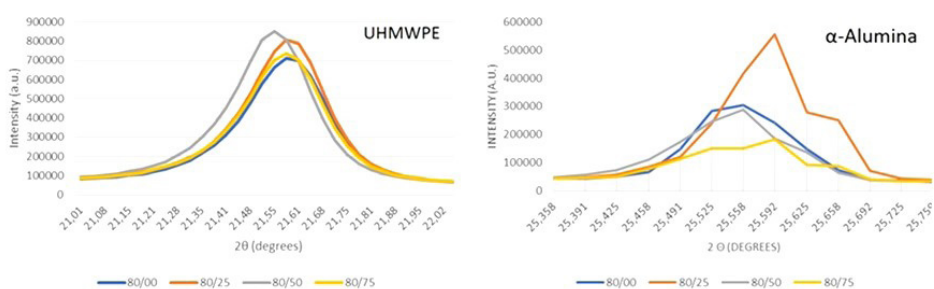


Figura 5 - Linhas de XRD selecionadas de UHMWPE e  $\alpha$ -alumina.

A Figura 6 é uma imagem SEM do pó de alumina, mostrando a forma irregular dos grãos, o que melhora a rigidez dos compósitos.



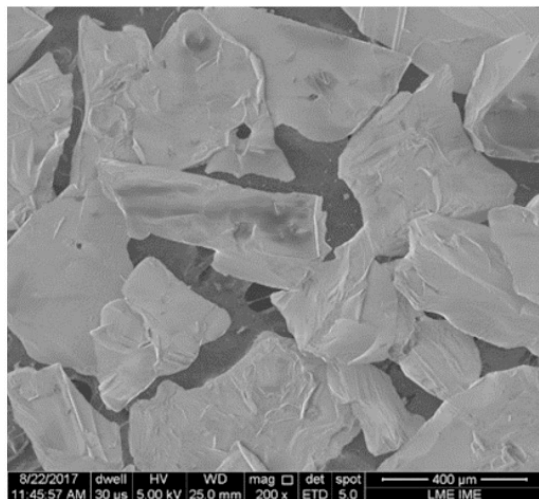


Figura 6 - Imagem SEM do pó de alumina.

Quando ocorre o impacto, ondas de choque compressivas se propagam ao longo da espessura da amostra e são responsáveis por diversas fissuras cuja interação cria posteriormente uma zona de dano cônica com ruptura dúctil e frágil, semelhante à observada em revestimentos cerâmicos (BRESCIANI, 2018). A Figura 7 mostra a zona de dano cônico na face distal de uma amostra A80/50.

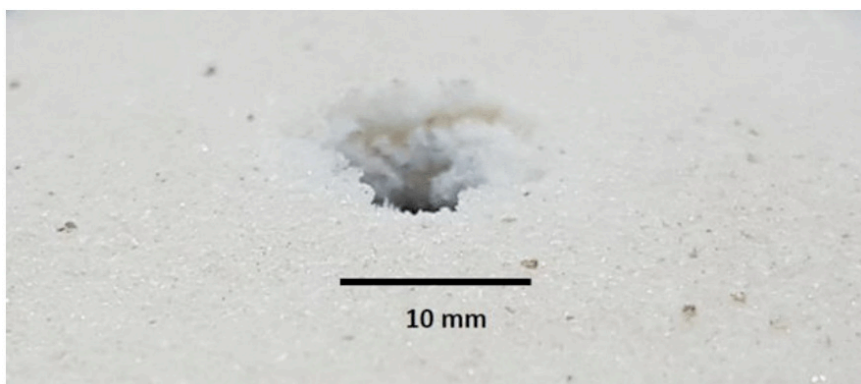


Figura 7 - Imagem ótica mostrando a zona de dano cônico na face distal de uma amostra A80/50.

A Figura 8 mostra as microtrincas nas faces distais das amostras A80 e A80/50 após o primeiro impacto. A principal diferença entre as Figuras 7a e 7b é que há evidências de *pullout* nas amostras irradiadas como consequência do aumento da adesão entre alumina

e UHMWPE, como também mostrado na Figura 9.

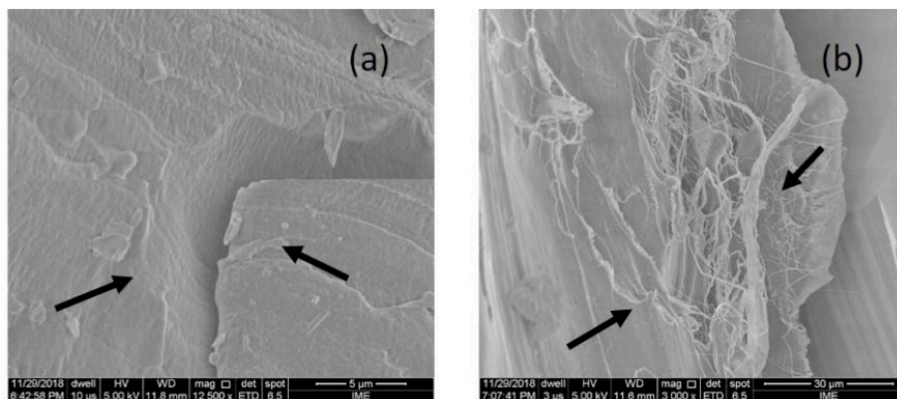


Figura 8 - Imagens de MEV, após o primeiro impacto, da face distal (a) de uma amostra A80/00 mostrando as microtrincas sem *pullout* e (b) de uma amostra A80/50 mostrando microtrincas com *pullout*.

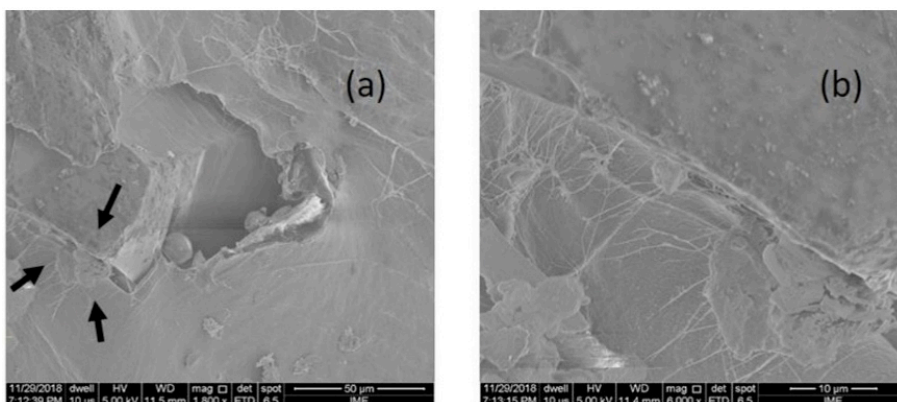


Figura 9 - Imagens de MEV, após o primeiro impacto, (a) da face distal de uma amostra A80/50, mostrando a região de contato entre alumina e UHMWPE, e (b) o aumento da mesma região, mostrando o *pullout* de UHMWPE.

## 4 | CONCLUSÃO

Os testes balísticos foram realizados em compósitos de alumina-UHMWPE com radiação gama. O compósito com 80% de alumina submetido a uma dose de radiação de 50 kGy foi o que apresentou as melhores propriedades balísticas. Os resultados de conteúdo de gel, DSC, XRD e SEM sugerem que isso se deve a três efeitos da radiação gama: um aumento da extensão da reticulação, uma diminuição da fração de volume do UHMWPE amorfo e um aumento da adesão entre alumina e UHMWPE. Os resultados também mostraram que o aumento da dose de radiação acima de 50 kGy tem efeitos

adversos, provavelmente devido à produção de um grande número de microfissuras que levam a amorfização das partículas de alumina e à degradação do UHMWPE, gerando radicais livres.

## REFERÊNCIAS

AZEVEDO, G., ARAGÃO, J.C.T., **Apontamentos sobre balística**, Rio de Janeiro, 2010.

BITTENCOURT, B.A., ELLWANGER M. V., NASCIMENTO, W. A., BELCHIOR, L. F., ARAÚJO, E. M., MELO, T. J. A., **Moldagem por compressão a frio do polietileno de ultra alto peso molecular. Parte 1: Influência do tamanho, distribuição e morfologia da partícula na densidade a verde**, Polímeros: Ciência e Tecnologia, v. 19, n. 3, p. 224-230, 2009.

BRESCIANI, L.M., MANES, A., GIGLIO, M., **Na analytical model for ballistic impacts against ceramic tiles**, Ceram. Int., v. 44, p. 21249, 2018.

CARLUCCI, D.E.; JACOBSON, S.S. **Ballistics: theory and design of guns and ammunition**. Boca Raton [Florida]: CRC, 2008. 496p. ISBN 1420066180.

CAVALLARO, P.V., **Soft body armor: an overview of materials, manufacturing, testing, and ballistic impact dynamics**, 1 August 2011, NUWC-NPT Technical Report 12,057

COUTINHO, F.M.B., MELLO, I.L., SANTA MARIA, L.C., **Polietileno: Principais Tipos, Propriedades e Aplicações**, Polímeros: Ciência e Tecnologia, v. 13, p. 1-13, 2003.

FIGUEIREDO, A.B.S, LIMA JR, E.P., GOMES, A.V., MELO, G.B.M., MONTEIRO, S.N., de BIASI, R.S., **Response to ballistic impact of alumina-UHMWPE composites**, Mat. Res., v. 21(5): e20170959, 2018.

HOBBS, L. W., CLINARD JR., F. W., ZINKLE, S. J., EWING, R. C., **Radiation effects in ceramics**, J. N. Mat., v. 216, p. 291-321, 1994.

LIMA, I. S., ARAÚJO, E. S., **Efeitos da radiação gama na estrutura e nas propriedades do poliestireno**. In: 4<sup>th</sup> Meeting on Nuclear Applications, 1997, Poços de Caldas. Associação Brasileira de Polímeros-ABPol. Rio de Janeiro: Divisão gráfica SG-6 / UFRJ, v. 2. p. 137-139, 1997.

LUZ, F.S., JUNIOR, E.P.L., LOURO, L.H.L., MONTEIRO, S.N., **Ballistic test of multilayered armor with intermediate epoxy composite reinforced with jute fabric**, Materials Research, v. 18, p. 170-177, 2015.

MADHU, V., RAMANJANEYULU, K., BHAT, T. B., GUPTA, N. K., **Na experimental study of penetration resistance of ceramic armour subjected to projectile impact**, Int. J. Imp. Eng., v. 32, p. 337-350, 2005.

MEDVEDOVSKI, E., **Lightweight ceramic composite armor system**, Advances in Applied Ceramics, v. 105, p. 241-245, 2006.

MEDVEDOVSKI, E., **Ballistic performance of armor ceramics: Influence of design and structure – part I**, Ceramics International, v. 36, p. 2103-2115, 2010.

MEDVEDOVSKI, E., **Ballistic performance of armor ceramics: Influence of design and structure – part II**, Ceramics International, v. 36, p. 2117-2127, 2010.

NEVES J. C., SILVA, G. G., MENDES, M. W. D., BRESSIANI, A. H., BRESSIANI, J. C., GARCIA, F. G., **Efeito da irradiação gama nas propriedades mecânicas e térmicas de redes DGEBA/amina cicloalifática com potencial para aplicações médicas**, Polímeros, v. 23, n. 6, p. 814-822, 2013.

SENATOV, F.S., GORSHENKOV, M.V., TCHERDYNTSEV, V.V., KALOSHKIN, S.D., SUDARCHIKOV, V.A., **Fractographic analysis of composites based on ultra high molecular weight polyethylene**, Composites: Part B, v. 56, p. 869-875, 2014.

SHAFIQ, M., MEHMOOD, M.S., YASIN, T., **On the structural and physicochemical properties of gamma irradiated UHMWPE/silane hybrid**, Mat. Chem. Phys, v. 143, p. 425-433, 2013.

SHERMAN, D., **Impact failure mechanism in alumina tiles on finite thickness support and the effect of confinement**, Int. J. Impact Eng., v.24, p. 313-328, 2000.

SPIEGELBERG, S. H., **Chapter 24: Characterization of Physical, Chemical, and Mechanical Properties of UHMWPE**, UHMWPE Biomaterials Handbook (Second Edition), p. 355-368, 2009.

## 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)