

# 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 Alfnas

### **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**

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

Data de aceite: 01/04/2021

Data de submissão: 19/02/2021

### Itamara Farias Leite

Universidade Federal Da Paraíba  
João Pessoa-PB, BRASIL  
<http://lattes.cnpq.br/3355222757051946>

### Wvanson Felipe Wanderley

Universidade Federal Da Paraíba  
João Pessoa-Pb, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/5145607272677632>

### Alanne Tamize de Medeiros Salviano

Universidade Federal Da Paraíba  
João Pessoa-Pb, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/4694000007564520>

**RESUMO:** A engenharia de tecidos utiliza conhecimentos de biologia, química e física para o desenvolvimento de tecidos artificiais. Atualmente, o uso de biopolímeros representam uma alternativa interessante de materiais para a aplicação em avançadas terapias no combate às feridas de pele, tanto agudas como crônicas. Dentre os polímeros de origem natural, a quitosana (CS) tem recebido bastante atenção devido as suas atraentes propriedades intrínsecas. A forma mais comum de combater as diversas doenças é por meio da administração de fármacos via intravenosa. Entretanto, o problema desse método é a liberação do fármaco no corpo humano, geralmente ser realizada sem controle; muitas vezes necessitando de mais de uma dose para que surjam algum efeito no paciente. Uma

alternativa proposta nesse trabalho é a obtenção de membranas a partir de micropartículas de quitosana carregadas com bioativo natural (óleo de rã) visando auxiliar na liberação controlada do fármaco no local da lesão. Com o intuito de melhorar as propriedades físicas e potencializar as propriedades biológicas da quitosana, silicatos em camadas foram incorporados à mesma e via interações eletrostáticas resultaram em materiais nanoestruturados. O objetivo deste trabalho foi produzir membranas incorporadas com óleo natural de rã a uma concentração de 1 e 2% (v/v) a partir de micropartículas de quitosana e quitosana/argila obtidas por *Spray-Drying*. O método *casting* foi utilizado para obtenção dessas membranas. As micropartículas de quitosana/argila foram caracterizadas por difratometria de raios X, comprovando a formação de nanocompósitos parcialmente esfoliados. As membranas poliméricas foram analisadas qualitativamente e caracterizadas por ângulo de contato e grau de intumescimento. As membranas de quitosana/argila contendo 1% v/v de óleo de rã resultaram numa menor espessura assim como melhor intumescimento em água destilada. A incorporação do óleo favoreceu de modo geral na diminuição do ângulo de contato.

**PALAVRAS-CHAVE:** Quitosana, Óleo de rã, Membranas, Cicatrização.

### CHITOSAN-NATURAL BIOACTIVE MEMBRANES FOR POTENTIAL USE AS DRESSINGS

**ABSTRACT:** Tissue engineering uses knowledge of biology, chemistry and physics to develop

artificial tissues. Currently, the use of biopolymers represents an interesting alternative of materials for application in advanced therapies to combat skin wounds, both acute and chronic. Among the polymers of natural origin, chitosan (CS) has received a lot of attention due to its attractive intrinsic properties. The most common way to fight various diseases is through the administration of drugs intravenously. However, the problem with this method is the release of the drug in the human body, usually to be carried out without control; often needing more than one dose to have an effect on the patient. An alternative proposed in this work is to obtain membranes from chitosan microparticles carried with natural bioactive (frog oil) in order to assist in the controlled release of the drug at the injury site. In order to improve the physical properties and enhance the biological properties of chitosan, layered silicates were incorporated into it and via electrostatic interactions resulted in nanostructured materials. The objective of this work was to produce membranes incorporated with natural frog oil at a concentration of 1 and 2% (v/v) from microparticles of chitosan and clay/chitosan obtained by Spray-Drying. The casting method was used to obtain these membranes. The clay/chitosan microparticles were characterized by X-ray diffraction, proving the formation of partially exfoliated nanocomposites. The polymeric membranes were analyzed qualitatively and characterized by contact angle and degree of swelling. Clay/chitosan membranes containing 1% v/v of frog oil resulted in less thickness as well as better swelling in distilled water. The incorporation of the oil generally favored the reduction of the contact angle.

**KEYWORDS:** Chitosan, Frog oil, Membranes, Healing.

## 1 | INTRODUÇÃO

Quando a estrutura biológica de um órgão ou tecido não pode ser reparada naturalmente, a alternativa mais viável para reestabelecer as funções normais do paciente é, na maioria das vezes, utilizar um implante feito de um biomaterial [1]. A regeneração de órgãos e tecidos vivos, ou o reparo da função destes, é o objetivo da Engenharia de Tecidos. Como uma ciência multidisciplinar a Engenharia de Tecidos envolve conhecimentos das áreas de biologia, ciências da saúde, engenharia e ciência dos materiais [1]. Num sentido amplo a engenharia de tecidos visa fabricar partes de órgãos e tecidos de organismos vivos para sua substituição. Esse ramo do conhecimento tem se desenvolvido devido à crescente demanda por órgãos e tecidos em função de acidentes e/ou tratamentos de enfermidades diversas [2].

Diversas pesquisas são realizadas com a finalidade de explorar as atividades inerentes aos biopolímeros que contribuem com a cicatrização. A quitina é um polissacarídeo nitrogenado, geralmente derivada do exoesqueleto de animais marinhos, tais como caranguejo, camarão, lagosta e krill. Estima-se que 2,3 milhões de toneladas de quitina são produzidas como resíduos da indústria de alimentos a cada ano tornando-se um material econômico e renovável. No entanto, a quitina é considerada quimicamente inerte e é insolúvel em água e solventes orgânicos. A N-desacetilação da quitina produz o principal derivado, a quitosana. O grau de desacetilação é um fator importante para a determinação das características da quitosana [3].

A quitosana é um polissacarídeo natural, atóxico e bioabsorvível [4]. Devido à sua biocompatibilidade e biodegradabilidade, tem sido amplamente aplicada em sistemas de liberação de fármacos, terapia gênica, tratamento de águas, produção de cosméticos, aditivos alimentícios, membranas biodegradáveis e no desenvolvimento de biomateriais para a Engenharia de Tecidos [5,6]. A liberação controlada de fármacos através da produção de micropartículas é uma área em que a quitosana apresenta seus benefícios e tem encontrado grandes aplicações, onde muitos estudos têm sido realizados para desenvolver sistemas seguros de liberação de fármacos a partir do polissacarídeo. Por ser também, um polímero bioadesivo, a quitosana aumenta o tempo de permanência de uma formulação na cavidade cutânea e isto pode auxiliar na penetração do fármaco e, melhorar sua eficiência e aceitabilidade [7,8].

O uso popular do óleo extraído dos corpos gordurosos da rã da espécie *Rana catesbeiana* Shaw tem sido crescente, sobretudo como anti-inflamatório antiulceroso gastroduodenal e cicatrizante. Esses corpos, cujo óleo é muito simples de extrair, constituem material descartável nos abatedouros, portanto seu custo é zero. A partir de pesquisas, autores concluíram que uma microemulsão composta por fase oleosa de 90%, fase aquosa de 5% e fase tensoativa de 5%, ou ainda, apenas o puro óleo da rã-touro apresenta boa ação anti-inflamatória nas primeiras horas após a indução da lesão, potencialmente indicando boa ação terapêutica sobre o tratamento da inflamação aguda. Assim, os resultados mostram grande relevância, pois demonstram que tanto a microemulsão, como também o óleo de rã puro, apresentam bom efeito anti-inflamatório [9].

Para tanto, este trabalho de pesquisa tem como objetivo principal a produção de membranas biodegradáveis incorporadas com óleo de rã, a partir de micropartículas de quitosana e quitosana/argila para uso como curativos no tratamento de feridas.

## 2 | MATERIAIS E MÉTODOS

A quitosana, sob forma de pó e com grau de desacetilação de 85,72% foi fornecida pela Polymar (Fortaleza – CE). A argila natural (AN) usada foi do tipo bentonita doada pela Bentonit União Nordeste (Boa Vista – PB), com um diâmetro médio de partículas de 35,73  $\mu\text{m}$ . O ácido láctico (85%) P.A. ( $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3$ ) com massa molar de 90,8g/mol, foi fornecido pela Neon Comercial Ltda (São Paulo – SP). O óleo de rã, de coloração amarelada e odor característico, foi doado pela aluna de doutorado Alanne Tamize. O tensoativo TWEEN 20 foi fornecido pela Proquímios Comércio e Indústria Ltda (Rio de Janeiro – RJ).

### **Obtenção de micropartículas de quitosana e quitosana/argila por *Spray Dryer*:**

Para ambos os casos descritos abaixo, a atomização foi realizada no equipamento *Spray Dryer* da marca Labmaq do Brasil, modelo LM SD 5.0. Os parâmetros operacionais de temperatura e vazão utilizados foram de 160°C e 2L/h, respectivamente.

1º) Preparação da solução de quitosana (CS): Uma solução de quitosana a 2% m/v foi preparada pela dissolução de 20,0 g de quitosana (CS) em 1L de uma solução a 1%

(v/v) de ácido láctico P.A.. Para a solubilização e homogeneização, a solução foi agitada mecanicamente a 45°C por 2h. Em seguida, resfriada a temperatura ambiente e mantida em repouso durante 24h visando a eliminação de possíveis bolhas surgidas durante o processo. Após o repouso foi feita a atomização para obtenção das micropartículas de CS.

2º) Incorporação de argila natural (AN): Após a preparação da solução de quitosana a 2% m/v conforme descrita na etapa anterior e atingida a primeira hora de mistura, foi incorporada 10% em massa de argila natural (AN) em relação a massa total de quitosana na solução polimérica. A Dispersão quitosana/argila foi mantida por mais 1h sob agitação mecânica e aquecimento, até completar 2h de mistura. Em seguida, a dispersão foi resfriada a temperatura ambiente e mantida em repouso por 24h visando a eliminação de possíveis bolhas surgidas durante o processo. Após o repouso foi feita a atomização para obtenção das micropartículas de CS + 10% AN.

### **Preparação das membranas pelo método *casting*:**

#### 1ª Etapa: Membranas de quitosana e quitosana/argila sem incorporação de óleo:

Para obtenção das membranas, soluções/dispersões de quitosana foram preparadas, respectivamente, pela dissolução de 0,5g de micropartículas de quitosana e quitosana/argila em 50mL de água destilada, separadamente. Para a solubilização e homogeneização, as soluções/dispersões foram agitadas magneticamente a 45°C por 2h. Em seguida, resfriadas a temperatura ambiente e vertidas em placas de Petri de 11cm de diâmetro e submetidas à evaporação do solvente em estufa com circulação e renovação forçada de ar a 40°C por 24h para formação das membranas sob a forma de filmes. As amostras foram codificadas como CS1 (membranas de quitosana) e CS1AN (membranas de quitosana/argila).

2ª Etapa: Incorporação do óleo de rã nas membranas de quitosana e quitosana/argila: Após preparação das soluções/dispersões como descritas acima, o bioativo natural (óleo de rã) foi incorporado nas concentrações de 1 e 2% (v/v) nas soluções/dispersões poliméricas e mantidas sob agitação magnética por mais 3h, tendo em vista a maior dificuldade de homogeneização. Em seguida, resfriadas a temperatura ambiente e mantidas em repouso por 24h para eliminação de bolhas presentes. Após repouso, as soluções/dispersões poliméricas foram vertidas em placas Petri de 11 cm de diâmetro e submetidas à evaporação do solvente em estufa com circulação e renovação forçada de ar a 40°C por 60h para formação das membranas sob forma de filmes. As membranas foram codificadas como CS1O1 (quitosana com 1% de óleo de rã), CS1O2 (quitosana com 2% de óleo de rã), CS1O1AN (quitosana com 1% de óleo de rã + argila natural) e CS1O2AN (quitosana com 2% de óleo de rã + argila natural).

Afim de diminuir a tensão superficial, aumentando a superfície de contato entre os dois fluidos (solução de quitosana e óleo), foi adicionado um Tensoativo (TWEEN 20) na quantidade de 60% do volume total de óleo para cada solução/dispersão, possibilitando uma melhor homogeneização.

**Análise qualitativa:** A partir da análise visual e do toque ao tato, as respectivas

composições de membranas poliméricas foram analisadas qualitativamente quanto a cor, aderência, flexibilidade e homogeneização.

**Espessura:** As espessuras das membranas foram medidas com um micrômetro digital, de marca DIGIMESS, com precisão de 0,01 mm. Uma média de 6 pontos foi utilizada na determinação do valor médio de espessura para cada membrana.

**Molhabilidade por ângulo de contato:** O ângulo de contato foi realizado em um equipamento produzido por professores e alunos da Universidade Federal da Paraíba. O método usado para determinação da molhabilidade foi o da gota estática, usando os fluidos, água destilada (pH=5,5) e PBS (pH=7,2). Um volume de 10 μL de solução foi gotejado sobre a membrana e fotografado com câmera digital. O ensaio foi realizado em triplicata e devido a rápida variação da medida do ângulo em função do tempo, foram realizadas 5 medidas para cada amostra. A temperatura da sala era de 25±5°C.

**Ensaio de intumescimento:** As amostras foram cortadas no tamanho (2x2) cm e submetidas à secagem em estufa de circulação e renovação de ar a 100°C por 24h. Em seguida, as amostras foram pesadas (Ps) em balança analítica marca SHIMADZU, modelo AX200 e, posteriormente imersas em 15 ml de solução em placas de acrílico de 6 cm de diâmetro para avaliação da capacidade de intumescimento. Permaneceram em solução durante um tempo de 1, 2 e 3h. Em seguida, as membranas foram secas em papel toalha para retirada do excesso de solução e pesadas novamente para se obter o peso úmido (Pu). O ensaio foi realizado em triplicata.

Para o cálculo do grau de intumescimento das membranas de quitosana e quitosana/argila, com e sem a incorporação de óleo de rã, foi utilizada a Equação 1.

$$Gi = \frac{(Mf - Mi)}{Mi} \times 100 \quad (1)$$

Em que, Gi é o grau de intumescimento dado em porcentagem, Mi é a massa inicial medida antes do intumescimento e Mf é a massa final medida após o intumescimento, ambas as massas dadas em (g).

**Difratometria de raios X (DRX):** A argila bentonita e as micropartículas de quitosana/argila foram submetidas a análise por difratometria de raios-x. O equipamento usado foi o difratômetro da Shimadzu XDR – 6000, com radiação CuKα (λ=1,5418 Å), tensão e corrente de 40kV e 30mA, respectivamente. As medidas de DRX foram realizadas com 2θ na faixa de 5 a 50°, fenda de 1° e velocidade de varredura de 1°/min para a argila bentonita. Já as micropartículas de quitosana/argila foram analisadas com 2θ variando de 1 a 12°, fenda de 0,5° e velocidade de varredura de 1°/min. O espaçamento basal (d) da argila e das micropartículas de quitosana/argila foi calculado de acordo com a lei de Bragg, conforme Equação 2.

$$d_{001} = \frac{n\lambda}{2\text{sen}\theta} \quad (2)$$

Em que, é a reflexão basal do plano (001) do argilomineral montmorilonita na argila bentonita em (nm);  $n$  é 1;  $\lambda$  é com comprimento de onda da radiação  $\text{CuK}\alpha$  ( $\lambda=1,5418 \text{ \AA}$ ) e  $\Theta$  é o ângulo do pico referente a reflexão basal (001) em graus ( $^\circ$ ).

**Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR):** A análise de espectroscopia no infravermelho do óleo de rã foi realizada no espectrofotômetro modelo Spectrum 400 da Perkin Elmer. Os espectros foram obtidos na região de  $4000$  a  $600 \text{ cm}^{-1}$  com resolução  $4 \text{ cm}^{-1}$ .

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### Análise qualitativa

A Figura 3 mostra o aspecto visual das membranas de quitosana e quitosana/argila, com e sem a incorporação do óleo de rã, em suas diferentes composições. Todas as membranas se apresentaram transparentes e amarronzadas; coloração atribuída a quitosana usada nesse estudo. À medida que o óleo de rã foi sendo incorporado nas diferentes composições pode-se notar uma diminuição na intensidade do tom amarronzado das membranas. Esse efeito pode estar relacionado a cor leitosa do óleo de rã. Observou-se também que as membranas CS1O1, CS1O2, CS1O1AN e CS2O2AN apresentaram odor característico do óleo de rã e que durante a agitação magnética, a viscosidade das soluções não foi alterada mediante o aumento da concentração de óleo para 2%. Isso possivelmente aconteceu por conta da adição do tensoativo, proporcionando uma boa homogeneização nas diversas composições.

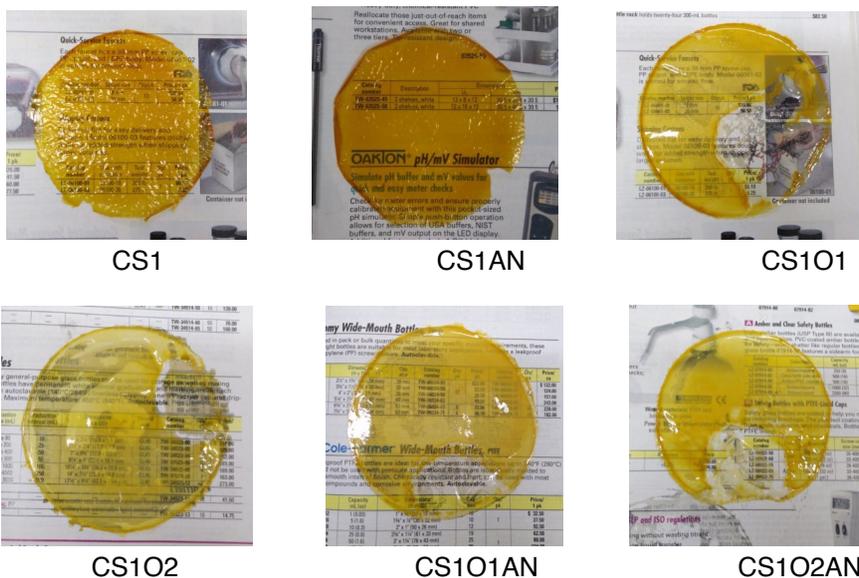


Figura 3. Aspecto visual das membranas abordadas na pesquisa.

## Espessura

Os valores médios de espessura das membranas estudadas estão exibidos na Tabela 1. A partir desses valores, foi possível observar que as membranas apresentaram uma variação de espessura de 30,5 a 91,5  $\mu\text{m}$ . Isto pode estar associado aos diferentes tipos e concentração de componentes nas diferentes composições de cada membrana.

Amostra	Espessura ( $\mu\text{m}$ )						Média
	1	2	3	4	5	6	
CS1	53	40	33	39	34	32	38,5 $\pm$ 7,8
CS1AN	49	31	27	35	13	28	30,5 $\pm$ 11,7
CS1O1	73	74	54	129	61	48	73,17 $\pm$ 29,2
CS1O2	49	59	21	43	96	10,4	46,4 $\pm$ 30,26
CS1O1AN	49	68	70	46	65	40	56,33 $\pm$ 12,85
CS1O2AN	70	64	85	101	111	118	91,5 $\pm$ 22,06

Tabela 1. Medidas de espessura das membranas de quitosana e quitosana/argila, com e sem a incorporação de óleo de rã.

## Molhabilidade por ângulo de contato

A molhabilidade de um material é obtida por meio das tensões superficiais associadas à sua energia superficial, pois são elas que produzem um maior espalhamento ou aderência da gota na superfície. Este efeito das tensões é investigado por meio da medida do ângulo de contato entre a gota do líquido e a superfície que pode apresentar diferentes estados de molhabilidade [10]. Se uma gota se espalha na superfície, podemos dizer que ela é hidrofílica, da mesma forma, se a gota não se espalhar e tomar a forma de uma circunferência, pode-se dizer que ela é hidrofóbica. Ambas as características são determinadas pelo valor do ângulo de contato. Relacionando o ângulo de contato com o estado de molhabilidade de filmes finos, define-se estado superhidrofílico para ângulos menores que 40°, hidrofílicos para ângulos entre 40 e 90°, hidrofóbicos para ângulos entre 90 e 120° e por fim, superhidrofóbico para ângulos superiores a 120° [11].

A Tabela 2 mostra as medidas de ângulo de contato das membranas estudadas neste trabalho, visando analisar o caráter hidrofílico/hidrofóbico das mesmas em água destilada (pH = 5,5) e PBS (pH = 7,2).

Amostra	Ângulo de contato (°)			
	Água destilada (pH = 5,5)		PBS (pH = 7,2)	
	Média	Desvio padrão	Média	Desvio padrão
CS1	52,93	1,54	57,78	2,37
CS1AN	55,76	0,85	60,51	2,31
CS1O1	29,03	1,73	33,88	2,68
CS1O2	29,82	1,82	33,5	5,48
CS1O1AN	30	1,42	31,55	1,69
CS1O2AN	34,7	3,21	33,4	1,5

Tabela 2. Valores de molhabilidade através de ângulo de contato das membranas estudadas em água destilada e PBS.

De modo geral, a adição de óleo nas membranas proporcionou uma diminuição do ângulo de contato, acarretando numa melhora da molhabilidade em ambos os fluidos. Membranas de quitosana pura apresentam ângulos de contato muito variáveis de acordo com a literatura. Algumas publicações relatam valores próximos de 70 e de 80°, [12,13,14], valores estes bem maiores do que o valor determinado neste trabalho. Todas as membranas com adição de óleo de rã apresentaram estado superhidrofílico; característica essa de bastante interesse no tocante a absorção do exsudato proveniente do fermento. Essas características tornam as membranas incorporadas com óleo fortes candidatas a curativos.

### Ensaio de intumescimento

A avaliação do grau de intumescimento em membranas permite verificar a perspectiva de degradação, que estar relacionada ao grau de hidratação do sistema, ao mesmo tempo em que a liberação do fármaco se encontra dependente também da permeabilidade da membrana [15]. O inchamento de um material é tomado como fator decisivo para uma eficaz difusão de nutrientes e células, onde um alto grau de intumescimento poderá favorecer positivamente o processo de cicatrização uma vez que fornece ao material uma maior capacidade de absorção dos exsudados da superfície de feridas.

O grau de intumescimento das membranas estudadas neste trabalho foi analisado tomando por base a quantidade de água destilada e PBS absorvida pela matriz polimérica nos intervalos de tempo de 1, 2 e 3h. Os valores de absorção estão exibidos na Tabela 3.

Na quitosana, há predominância dos grupos amino caracterizados por ligações covalentes (N-H), onde a eletronegatividade das ligações gera sítios de alta polaridade, tornando assim favorável o rearranjo das moléculas de água ao redor de tais sítios. Essa característica estrutural caracteriza o material com um alto grau de afinidade e retenção

de água. A afinidade de absorver e reter água é de grande importância para materiais implantáveis, tornando capaz a absorção de fluidos corpóreos bem como a transferência de nutrientes metabólicos.

Intumescimento em água destilada (%)			
Amostra	1h	2h	3h
CS1	54,34 ± 15,18	46,75 ± 17,71	44,37 ± 17,65
CS1AN	47,52 ± 21,88	36,21 ± 16,16	41,5 ± 17,85
CS1O1	93,68 ± 3,51	84,57 ± 5,55	83,64 ± 5,2
CS1O2	45,92 ± 11,51	35,0 ± 7,16	40,94 ± 6,97
CS1O1AN	72,68 ± 11,98	78,47 ± 10,64	65,76 ± 8,77
CS1O2AN	44,41 ± 3,6	39,87 ± 11,74	39,54 ± 14,9

Intumescimento em PBS (%)			
Amostra	1h	2h	3h
CS1	27,98 ± 15,41	37,88 ± 8,66	34,09 ± 15,16
CS1AN	21,44 ± 13,53	30,67 ± 7,98	30,11 ± 12,87
CS1O1	72,5 ± 7,81	63,84 ± 3,72	54,02 ± 3,6
CS1O2	47,23 ± 3,65	37,38 ± 1,93	35,20 ± 6,5
CS1O1AN	60,17 ± 12,05	54,77 ± 7,98	41,87 ± 12,57
CS1O2AN	30,4 ± 7,07	35,27 ± 1,26	23,23 ± 12,7

Tabela 3. Valores de intumescimento para as membranas estudadas em água destilada (pH = 5,5) e em PBS (pH = 7,2).

Nenhuma membrana se solubilizou por completo. Todas as membranas apresentaram inchamento após a primeira hora de intumescimento em ambos os fluidos. Isso é uma característica decisiva quando se objetiva um bom transporte de nutriente e células. Quanto mais alto o grau de intumescimento, maior será a capacidade da membrana de absorver exsudados da superfície das feridas cutâneas, aspecto de relevância no processo de cicatrização [18].

### Difratometria de raios X (DRX)

A Figura 4 mostra o difratograma de raios X da argila (AN). Observa-se que o pico em torno de  $2\theta=7,31^\circ$  corresponde a reflexão basal (001) que é característico do argilomineral montmorilonita (M), com distância interplanar basal ( $d_{001}$ ) de 1,21 nm, calculado pela Equação 2. Verifica-se ainda dois picos, em  $2\theta=19,96^\circ$  e  $2\theta=28,74^\circ$ , no qual comprovam

também a presença da montmorilonita. Enquanto que em torno de  $2\theta=14,84^\circ$  tem-se o aparecimento da caulinita (K) e em  $2\theta=26,84^\circ$  tem-se a presença do quartzo (Q).

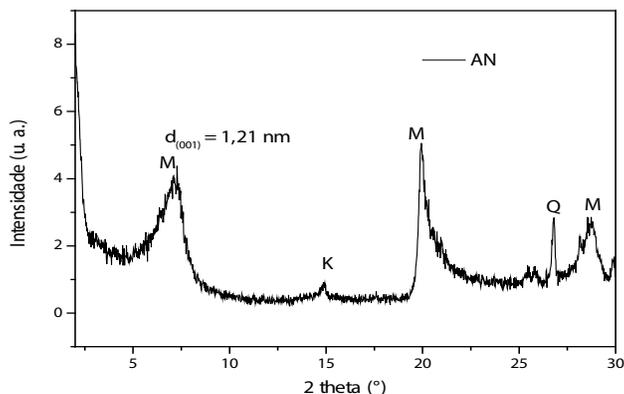


Figura 4. Difratograma de raios X da argila (AN).

A Figura 5 mostra o difratograma das micropartículas de quitosana/argila. Observa-se a presença de um pico cristalográfico em  $2\theta=2,56^\circ$  pertencente ao plano (001) da montmorilonita presente na composição. A incorporação da argila na solução de quitosana para preparação das micropartículas de quitosana/argila, aumentou o espaçamento basal da argila no polímero para 3,46 nm. Tal comportamento caracteriza a formação de nanocompósito polimérico com morfologia parcialmente esfoliada. Os nanocompósitos poliméricos apresentam propriedades mecânicas e térmicas superiores aos compósitos convencionais, mesmo com uma quantidade menor de carga, devido à maior área de contato entre o polímero e a fase dispersa [19].

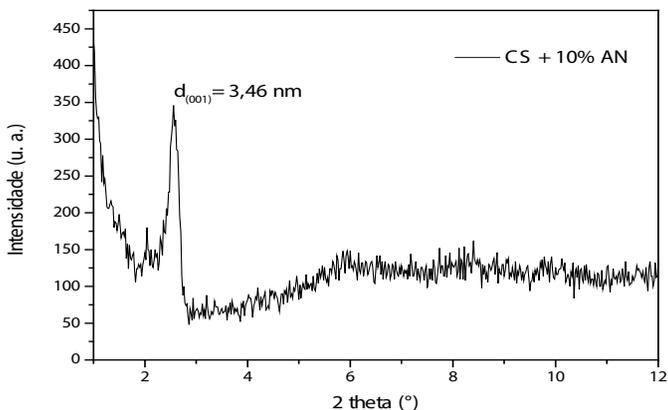


Figura 5. Difratograma de raios-X das micropartículas de quitosana/argila.

## Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR)

A Figura 6 mostra o espectro de FTIR do óleo de rã. Bandas de estiramento simétricas e assimétricas do grupo C-H surgiram em  $2922,27\text{ cm}^{-1}$  e  $2850,88\text{ cm}^{-1}$ , sugerindo semelhanças com outras gorduras comestíveis [20]. O grupo C=O de triglicerídeos se mostrou na faixa de vibração de alongamento em  $1743,46\text{ cm}^{-1}$ . A uma faixa de aproximadamente  $1461,85$  foi atribuída a vibração de flexão do grupo metileno. Bandas de  $1161,23$  e  $1099,05\text{ cm}^{-1}$  foram atribuídas às vibrações de estiramento dos grupos C-O com ésteres. Esta vibração consiste em duas vibrações acopladas assimétricas para C-C (= O)-O e O-C-C, enquanto a primeira é mais importante [21]. A banda de estiramento de C-O a  $1161,23\text{ cm}^{-1}$  indicou a hidrólise de ácidos graxos e gliceróis [22]. Por fim, a banda a  $722,36\text{ cm}^{-1}$  deveu-se à sobreposição da vibração do balanço de metileno e à vibração de flexão fora do plano das olefinas cis-dissubstituídas [21].

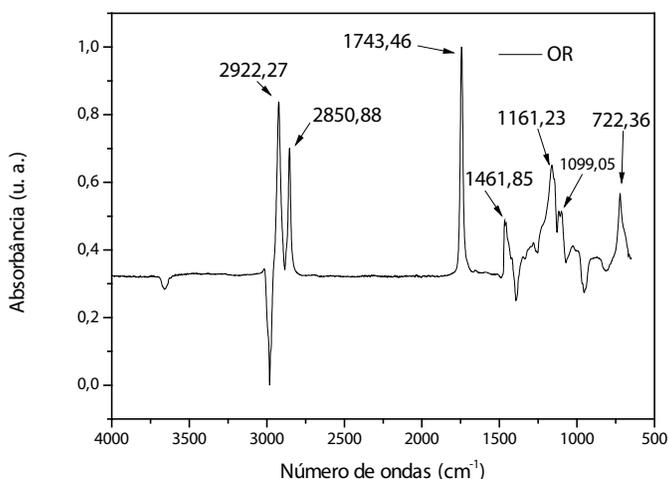


Figura 6. Espectro de FTIR do óleo de rã.

## 4 | CONCLUSÃO

Através desses resultados pode-se concluir que membranas obtidas a partir de micropartículas de quitosana e quitosana/argila foram obtidas com êxito. A incorporação do óleo de rã aumentou a molhabilidade das membranas, tanto em água destilada como em PBS; uma importante característica para materiais a serem empregados como curativos cutâneos. Os resultados de FTIR confirmaram a presença de ácidos graxos no óleo de rã, que são elementos que participam do organismo humano, vitais na construção da membrana celular e presentes na epiderme. A adição de argila favoreceu na formação de nanocompósitos poliméricos, potencializando as propriedades biológicas da quitosana.

O ensaio de intumescimento revelou o inchamento de todas as membranas estudadas; característica satisfatória para a absorção de exsudato de feridas cutâneas. Portanto, é notório que as membranas estudadas apresentam propriedades e características positivas, que são favoráveis para a aplicação como matriz dérmica no tratamento de tecidos lesionados.

## REFERÊNCIAS

- ASSIS, O. B. G.; SILVA, V. L. Caracterização estrutural e da capacidade de absorção de água em filmes finos de quitosana processados em diversas concentrações. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, v. 13, n. 4, p. 223-228, 2003.
- BARBANTI *et al.* Polímeros bioreabsorvíveis na engenharia de tecidos. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 15, n. 1, p. 13-21, 2005.
- BITTENCOURT, Renata Aparecida de Camargo. **Cultura de condrócitos para o uso terapêutico: reconstituição de cartilagem**. Orientador: Hamilton da Rosa Pereira, 2008. 129f. Tese de Doutorado (Universidade Estadual de São Paulo, Botucatu), Faculdade de Medicina de Botucatu, 2008.
- DAVIM, A. L. S. *et al.* Anti-inflammatory potential of microemulsion and pure bullfrog oil in muscle injury. **Revista Brasileira de Medicina Do Esporte**, v. 23, n. 3, p. 237–240, 2017.
- Di MARTINO, A. *et al.* Chitosan: a versatile biopolymer for orthopaedic tissue-engineering. **Biomaterials**, v. 26, n. 30, p. 5983-5990, 2005.
- FILHO, S. P. C. *et al.* Propriedades e aplicações de quitosana. **Revista de Processos Químicos**, v. 1, n. 2, p. 9-20, 2007.
- COSTA, Jailson Rodrigo. **influência da temperatura na estrutura e molhabilidade de filmes finos**. Orientador: Júlio Miranda Pureza, 2016. 61f. Dissertação (Mestrado em Física) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Joinville.
- DRURY, J. L.; MOONEY, D. J. Hydrogels for tissue engineering: scaffold design variables and applications. *Biomaterials*, v. 24, n. 24, p. 4337-4351, 2003.
- FERNANDES, Ligia Lopes. **Produção e caracterização de membranas de quitosana e de quitosana com sulfato de condroitina para aplicações biomédicas**. 2009. 64f. Projeto de graduação; Universidade Federal do Rio de Janeiro; Rio de Janeiro, 2009.
- GUILLEN, M.D; CABO, N. Infrared spectroscopy in the study of edible oils and fats, **Journal of Science of Food and Agriculture**. v. 75, p. 1-11, 1997.
- HAMILTON, V. *et al.* Characterization of chitosan films and effects on fibroblast cell attachment and proliferation. **Journal of Materials Science: Materials in Medicine**, v. 17, n. 12, p. 1373–1381, 2006.
- MA, M; HILL, R. M; Superhydrophobic surfaces, **Current Opinion in Colloid & Interface Science**, v. 11, n. 4, p. 193–202, 2006.

MEI, L. H.; RODOLFO JÚNIOR, A. Nanocompósitos de PVC com argila organicamente modificada: efeitos do processamento e do método de incorporação da argila. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 19, n. 1, p. 1–9, 2009.

RAFTERY, R. *et al.* Chitosan for gene delivery and orthopedic tissue engineering applications. **Molecules**, v. 18, n. 5, p. 5611-5647, 2003.

SANTOS, J. E. *et al.* Caracterização de quitosanas comerciais de diferentes origens. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 13, n. 4, p. 242-249, 2003.

SENEL, S. *et al.* Enhancing effect of chitosan on peptide drug delivery across buccal mucosa. **Biomaterials**, v. 21, n. 20, p. 2067-2071, 2000.

SIONG, F.S. *et al.* Synchronized Analysis of FTIR Spectra and GCMS Chromatograms for Evaluation of the Thermally Degraded Vegetable Oils. **Journal of Analytical Methods in Chemistry**, v. 1, p. 1-9, 2014.

SOUZA, Renata Francielle Bombaldi. **Membranas de quitosana complexada com alginato e xantana: comportamento na presença de diferentes proporções de água e incorporação de eritromicina**. Orientador: Ângela Maria Moraes. 2014. 118 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Química, Campinas.

SUNG, J. H. *et al.* Gel characterisation and in vivo evaluation of minocycline-loaded wound dressing with enhanced wound healing using polyvinyl alcohol and chitosan. **International Journal of Pharmaceutics**, v. 392, n. 1–2, p. 232–240, 2010.

THEIN-HAN, W. W.; KITIYANANT, Y. Chitosan scaffolds for in vitro buffalo embryonic stem-like cell culture: An approach to tissue engineering. **Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials**, v. 80, n.1, p. 92-101, 2007.

VAN De VOORT, F.R. *et al.* Monitoring the Oxidation of Edible Oils by Fourier Transform Infrared Spectroscopy, **Journal of the American Oil Chemists' Society**. v. 71, n. 3, p. 243-253, 1994.

VAN DEN MOOTER, G. *et al.* The Relation Between Swelling Properties and Enzymatic Degradation of Azo Polymers Designed for Colon-Specific Drug Delivery. **Pharmaceutical Research**. V. 11, p. 1737-1741, 1994.

## 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)