

# 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 Cremona

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. 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. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Livia 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**

## COLORAÇÃO DO TITÂNIO COM LASER E RUGOSIDADE

Data de aceite: 01/04/2021

Data de submissão: 05/01/2021

### **Luis Miguel Moncayo Morales**

Instituto Militar de Engenharia, Laboratório de Biomateriais  
Rio de Janeiro-RJ  
<http://lattes.cnpq.br/8595424420833120>

### **Carlos Nelson Elias**

Instituto Militar de Engenharia, Laboratório de Biomateriais  
Rio de Janeiro-RJ  
<http://lattes.cnpq.br/3220111929133519>

### **Francielly Moura de Souza Soares**

Instituto Militar de Engenharia, Laboratório de Biomateriais  
Rio de Janeiro-RJ  
<http://lattes.cnpq.br/2514197144062543>

### **Dyanni Manhães Barbosa**

Instituto Militar de Engenharia, Laboratório de Biomateriais  
Rio de Janeiro-RJ  
<http://lattes.cnpq.br/0287590008539994>

**RESUMO:** A biocompatibilidade do titânio comercialmente puro (Ti cp) e de suas ligas é associada à excelente resistência à corrosão em contato com os fluidos corpóreos, elevada razão resistência mecânica/densidade e menor módulo de elasticidade que outras ligas. Para algumas destas aplicações o Ti é submetido a tratamentos químicos e eletroquímicos para obter colorações.

As cores variam com a espessura da camada de óxido do titânio ( $\text{TiO}_2$ ) na superfície. O objetivo do presente trabalho é analisar a influência do aquecimento com laser na coloração e nos parâmetros da rugosidade (Ra, Rz, Rms, vale, pico e R3z) de chapas de Ti cp. Os parâmetros de rugosidade foram medidos por interferometria. Os resultados mostraram que o aquecimento induziu o crescimento da espessura da camada de óxido e foram obtidas várias cores. A análise estatística indicou que não há diferença significativa nos parâmetros da rugosidade entre as cores analisadas.

**PALAVRAS-CHAVE:** *Óxido de Ti colorido, rugosidade do Ti, coloração do Ti.*

### TITANIUM COLORS AND ROUGHNESS

**ABSTRACT:** The applications of commercially pure titanium (CP Ti) and its alloys as biomaterials are due to their biocompatibility. Their biocompatibility is associated with corrosion resistance in contact with body fluids, high mechanical strength/density ratio, and lower modulus of elasticity than other alloys. For some applications, cp Ti is subjected to chemical and electrochemical treatments to obtain colorings. The colors vary with the thickness of the titanium oxide ( $\text{TiO}_2$ ) layer on the surface. The present work aims to analyze the influence of laser heating on the coloring and roughness parameters (Ra, Rz, Rms, valley, peak, and R3z) of Ti cp. The roughness parameters were measured by interferometry. The results showed that the heating induced the growth of the oxide layer thickness and several colors were obtained. The statistical analysis indicated that there is no



significant difference between the roughness parameters of the analyzed colors.

**KEYWORDS:** Ti oxide colors, Ti oxide roughness, laser treatment.

## 1 | INTRODUÇÃO

O Ti puro e suas ligas são empregados em diversas áreas da indústria e como biomaterial, especialmente quando deseja-se alta relação resistência mecânica/peso e resistência à corrosão. Entre as aplicações que merece destaque o emprego como eletrodos em células fotovoltaicas (Barbe C.H. et al. 1997; Paranthaman et al. 2016), limpeza e purificação do meio ambiente, tratamento de câncer no qual o material é um excelente fotocatalisador (Fujishima A. et al., 2000), sensor de gás na forma de películas finas nanocristalinas para quimissorção (Eranna G. et al., 2004), implantes ósseos (Sula Y.T., 2003) e componentes ópticos quando são necessários revestimentos de proteção e antirreflexo (Suhail M.H., 1992). O emprego do titânio comercialmente puro e suas ligas como biomateriais estão associadas às suas propriedades atóxicas, biocompatibilidade, osseointegração, resistência à corrosão em fluidos corpóreos, elevada razão resistência mecânica/densidade e baixo módulo de elasticidade (Kuroda; Nascimento; Grandini, 2020)

Em algumas situações, a coloração do titânio é necessária, como por exemplo para identificar as peças com pequenas variações dimensionais. É possível obter diferentes cores do óxido de titânio com emprego de diferentes metodologias, destacando-se a deposição catódica (Takikawa A. et al., 1999; Silva et al., 2017; Ke et al., 2019; Liu et al., 2019), a deposição de plasma (Teng K.S. et al., 1998; Boudot et al., 2017), a deposição de laser (Garapon C. et al., 1996), a pulverização catódica (Lee J.H. et al., 2012), a oxidação térmica (Dong H. & Bell T., 2000), a oxidação eletrolítica (Diamanti M.V. et al., 2008; Del Pino, A. P. et al., 2004) e a oxidação com feixe laser (O'Hana S. et al., 2008; Del Pino, A. P. et al., 2004; Lavisso L. et al., 2000).

O calor gerado durante a irradiação com laser varia com a energia do feixe laser e com as propriedades do material. O comprimento de onda selecionado do laser, a energia, o número de pulsos, o tempo de liberação da energia e o coeficiente de absorção de calor do material afetam o aquecimento produzido na superfície dos objetos.

As cores do óxido de Ti obtidas pelas técnicas convencionais são explicadas com base nos fenômenos de interferências da luz com a camada superficial do óxido (Suzuki A., 1996; Teng K.S. et al., 1998; Garapon C. et al., 1996). As cores variam com a espessura da camada de óxido. Nos revestimentos de óxido obtidos por tratamento com laser pulsado, as diferentes cores são associadas à espessura da camada superficial constituída por vários tipos de óxidos (Langlade C. et al., 1998; Langlade C. et al., 1998).

Os filmes coloridos do óxido de titânio apresentam uma variedade de cores, o que permite que eles sejam usados em aplicações decorativas (Del Pino, A. P. et al., 2004), eletrônica, indústria automotiva, publicidade e jóias (Diamanti M.V. et al., 2008; O'Hana S.

et al., 2008).

Segundo Del Pino, A. P. et al (2004), o tratamento da superfície do Ti com laser forma uma camada composta basicamente por  $\text{TiO}_2$  policristalino e outros óxidos ( $\text{TiO}$ ,  $\text{Ti}_2\text{O}_3$  e  $\text{TiO}_2$ ), com alto grau de oxidação e cristalinidade quando a velocidade de varredura do feixe laser é pequena.

No presente trabalho a coloração do titânio comercialmente puro foi feita com o emprego de feixes de laser. Com o aquecimento são formados vários tipos de óxidos de titânio e com diferentes espessuras. O processo é considerado fotofísico e não fototérmico (Karlova N.V. et al., 1993).

## 2 | MATERIAIS E MÉTODOS

No presente trabalho foram usadas placas de titânio (130 x 14 x 0,1 mm) de titânio comercialmente puro grau 2 (Norma ASTM F67). Os tratamentos com feixes laser foram realizados com um sistema Baasel Lasertech Nd: YAG (1,064  $\mu\text{m}$ ) com espelhos galvanométricos que permitem a deflexão do feixe. O sistema foi operado no modo onda contínua (continuous wave - cw). Foram usados feixes com potência de 53 W, lente de comprimento focal da lente entre 350  $\mu\text{m}$  a 160 mm e intensidade média do laser de aproximadamente 55  $\text{kW}/\text{cm}^2$ .

As amostras foram tratadas ao ar com varredura do feixe laser linear, deslocamentos paralelos e velocidade de 80 a 350 mm/s. Traços adjacentes foram separados por 100  $\mu\text{m}$ . Um tempo de atraso de 2 s entre linhas consecutivas foi selecionado para evitar acúmulo excessivo de calor durante o tratamento. Na mesma placa de Ti diferentes cores foram obtidas variando-se as velocidades de deslocamento do feixe laser (Tabela 2).

As rugosidades das placas de titânio foram quantificadas com o uso do rugosímetro óptico NewView 7100, Zygo. Esse equipamento permite caracterizar e quantificar a rugosidade da superfície, alturas de degraus, dimensões críticas e outros recursos topográficos. O princípio de funcionamento do NewView 7100 baseia-se na técnica de interferometria de luz branca sem contato, com uma matriz de medição de 640x480  $\mu\text{m}$ . A faixa de varredura vertical do equipamento é de 150  $\mu\text{m}$  (5906  $\mu\text{in}$ ), resolução vertical < 0,1 nm e resolução óptica de 0,36 a 9,5  $\mu\text{m}$ . O software de controle empregado no estudo foi o ZYGO MetroPro em execução no Microsoft Windows 7.

Para caracterizar a rugosidade foram quantificados os parâmetros:

- Ra: média aritmética dos valores absolutos das ordenadas de afastamento ( $y_i$ ), dos pontos de perfil de rugosidade em relação à linha média no percurso de medição ( $l_m$ ).
- Rms: média quadrática das áreas acima da linha média do perfil.
- Pico: altura do maior pico em relação a linha média.

- Rz: diferença entre o valor médio das coordenadas dos cinco pontos mais profundos medidos a partir da linha de referência, que não intercepta o perfil de rugosidade durante a medição.
- Vale: profundidade do maior vale em relação a linha média.
- R3z: corresponde a cada um dos 5 módulos (cut off). Em cada módulo foram traçadas as distâncias entre o terceiro pico mais alto e o terceiro vale mais profundo, em sentido paralelo à linha média.

A análise estatística dos resultados da rugosidade medidos por interferometria foi realizada para verificar a possível diferença significativa entre as cores da amostra. A comparação foi feita por meio dos testes de Bonferroni, Scheffe e Tukey.

### 3 | RESULTADOS

Uma das placas de titânio após a aplicação da técnica de coloração com laser é apresentada na figura 1. Mostra-se na figura 2 a morfologia representativa da superfície da região com coloração azul. Na tabela 1 são mostrados os parâmetros de tratamento e as cores obtidas. Os dados das rugosidades e distribuição das cores das placas são apresentados na tabela 2. Na figura 3 são apresentadas as médias dos parâmetros de rugosidade medidos por interferometria.

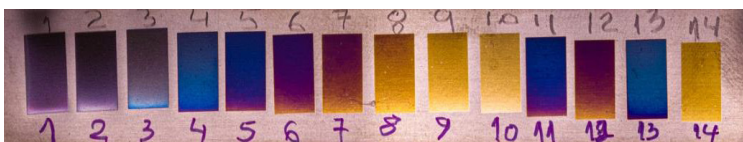


Figura 1: Cores do titânio comercialmente puro grau obtidas com laser.

v (mm/s)	350	260	240	140	100	80
Croma	Dourado	Roxo	Azul	Amarelo-verde	Rosa-dourado	Verde-rosa
x	0,44	0,21	0,23	0,35	0,38	0,3
y	0,41	0,2	0,25	0,37	0,33	0,32
Y	235	138	188	465	312	269
n	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4
d (nm)	25	44	49	91	119	166

Tabela 1: Cores das amostras tratadas com laser, velocidade de *scanner* do laser (v), coordenadas de cromaticidade (x,y,Y), índice de refração (n), e espessura da camada de óxido (d).

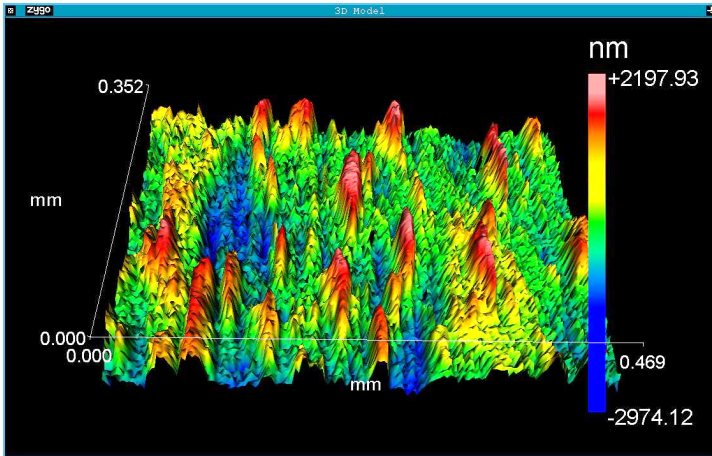


Figura 2: Morfologia representativas da placa após tratamento com laser. Regia com coloração azul.

		1: Cinza	2: Verde	3: Azul	4: Rosa	5: Amarelo	6: Azul
Ra	$\bar{X} \pm \sigma$	0,33 0,05	0,26	0,26 0,04	0,24 0,02	0,24 0,04	0,22 0,03
Rz	$\bar{X} \pm \sigma$	1610,4280,4	2418,71238,2	1538,4166,8	1387,68 275,45	1292,95 148,75	1425,51 297,58
Vale	$\bar{X} \pm \sigma$	-833,37 128,8	-1490,72 57,4	1397,1167,6	-885,99 170,15	-784,72 118,38	-1005,92 253,8
Pico	$\bar{X} \pm \sigma$	1352,31 328,2	1933,81867,2	703,2 130,4	1064,40 567,46	940,43 260,93	1581,99 1504,4
Rms	$\bar{X} \pm \sigma$	0,40 0,07	0,39 0,08	0,330,06	0,30 0,03	0,30 0,05	0,32 0,10
R3z	$\bar{X} \pm \sigma$	1399,3 163,4	2227,71289,1	1399,2145,6	1329,03 248,39	1207,62 42,77	1197,49 94,18

Tabela 2: Dimensões dos parâmetros da rugosidade ( $\mu\text{m}$ ) das diferentes cores da chapa de titânio após o tratamento com laser.

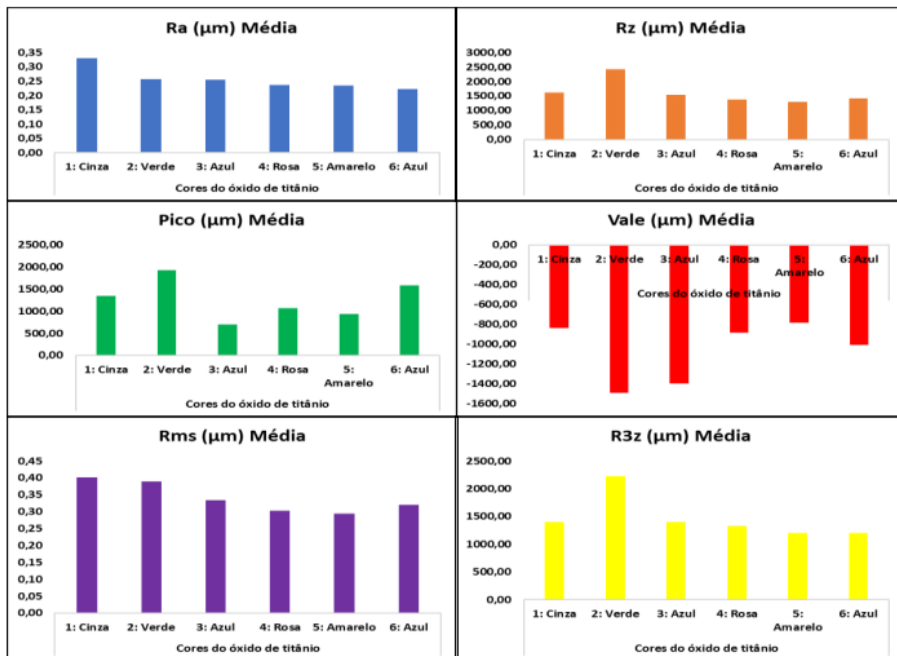


Figura 3: Valores das médias dos parâmetros de rugosidade (Ra, Rz, Pico, vale, Rms e R3z) das diferentes cores.

## 4 | DISCUSSÃO

Esperava-se que fosse possível identificar diferenças entre os parâmetros da rugosidade e as cores. Esta hipótese é feita considerando que as cores variam com a potência do laser e aquecimento induzido alterando a morfologia superficial. No entanto, pode-se observar na tabela 2 e na figura 3 que a diferença do mesmo parâmetro de rugosidade em relação às cores é pequena. Os resultados mostraram que não há relação entre os parâmetros de rugosidade com as diferentes cores.

Quando há diminuição da velocidade de escaneamento do feixe laser, a temperatura da superfície do material irradiado aumenta, aumentando a incorporação de oxigênio no titânio e a formação de uma camada oxidada com maior espessura. Mesmo ocorrendo alteração da morfologia superficial, esta não foi suficiente para modificar a rugosidade superficial.

## 5 | CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos pode-se concluir que:

- É possível obter diferentes cores do óxido de titânio na superfície de chapas de

titânio comercialmente puro grau 2 utilizando tratamento com laser.

- b. Entre as diferentes cores do óxido de titânio não existe diferença estatística significativa dos parâmetros de rugosidade.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos órgãos de fomento FAPERJ, CAPES e CNPq pelo suporte financeiro para executar o presente trabalho.

## REFERÊNCIAS

Barbe, C. J *et al.* Nanocrystalline titanium oxide electrodes for photovoltaic applications. **JACerS**, Suíça, vol. 80, n. 12, p. 3157-3171, mar. 1997

Boudot, C. *et al.* Vacuum arc plasma deposition of thin titanium dioxide films on silicone elastomer as a functional coating for medical applications. **Mater Sci Eng C Mater Biol Appl**, Alemanha, vol. 74, n. 1, p. 508-514, maio 2017

Del Pino, A. P *et al.* Coloring of titanium through laser oxidation: comparative study with anodizing. **SURF COAT TECH**, Espanha vol. 187, n. 1, p. 106-112, out. 2004

Diamanti, M. V *et al.* Interference colors of thin oxide layers on titanium. **Color Res Appl**, Italia, vol. 33, n. 3, p. 221-228, abr. 2008

Diebold, U. The surface science of titanium dioxide. **Surf. Sci. Rep.**, Estados Unidos, vol. 48, n. 5, p. 53-229, jan. 2003

Dong, H *et al.* Enhanced wear resistance of titanium surfaces by a new thermal oxidation treatment. **Wear**, Inglaterra, vol. 238, n. 2, p. 131-137, mar. 2000

Eranna, G *et al.* Oxide materials for development of integrated gas sensors—a comprehensive review. **CRIT REV SOLID STATE**, India, vol. 29, n. 3, p. 111- 188, ago. 2010

Field, M., Kahles, J. F., & Koster, W. P. Surface finish and surface integrity. **ASM Handbook.**, 1989, vol. 16, p. 19-36.

Fujishima, A *et al.* Titanium dioxide photocatalysis. **J. Photochem. Photobiol. C**, Japon, vol. 1, n. 1, p. 1-21, mar. 2000

Garapon, C *et al.*, Preparation of TiO<sub>2</sub> thin films by pulsed laser deposition for waveguiding applications. **APPL SURF SCI**, Francia, vol. 96, p. 836-841, abr. 1996

Hinojosa Rivera, M *et al.* La rugosidad de las superficies: Topometría. **Ingenierías**, Mexico, vol. 4, n. 11, p. 27-33, abr. 2001

- Karlov, N. V *et al.* Macroscopic kinetics of thermochemical processes on laser heating: current state and prospects. **Russ Chem Rev**, Rusia, vol. 62, p. 203, 1993
- Langlade C, Vannes A.B, Piccinini P, Baldi G, Sudarshan T.S, Jeandin M, Khor K.A (Eds.), Surface Modification Technologies XI. **THE INSTITUTE OF MATERIALS, LONDON**, 1998, p. 634.
- Langlade, C *et al.* Surface modification and tribological behavior of titanium and titanium alloys after YAG-laser treatments. **SURF COAT TECH**, Francia, vol. 100, p. 383-387, set. 1998
- Lavisse, L *et al.* The early stage of the laser-induced oxidation of titanium substrates. **APPL SURF SCI**, Francia, vol. 186, n. 1 p. 150-155, jan. 2002
- Lee, J. H *et al.* Investigation and evaluation of structural color of TiO<sub>2</sub> coating on stainless steel. **Ceram. Int**, Korea, vol.38, p. S661-S664, jan. 2012
- O'Hana, S *et al.* Laser surface colouring of titanium for contemporary jewellery. **Surf. Eng**, Inglaterra, vol. 24, n. 2, p. 147-153, mar. 2008
- Paranthaman, V. *et al.* Influence of zirconium dioxide and titanium dioxide binders on the photovoltaic performance of dye sensitized solar cell tungsten carbide nanorods based counter electrode. **Electrochimica Acta**, Malasia, vol. 211, p. 375-384, 2016
- Sharma, A. K. Anodizing titanium for space applications. **Thin solid films**, India vol. 208, p. 48-54, 1992
- Silva, S. Santos da *et al.* Deposição de filmes finos de nitreto de titânio em plasma com efeito de comprimento de catodo oco em gaiola catódica. **Matéria**, Brasil, vol. 22, n. 3, p. 1-12, ago. 2017
- Suhail, M. H *et al.* dc reactive magnetron sputtering of titanium-structural and optical characterization of TiO<sub>2</sub> films. **J. Appl. Phys**, Malasia, vol. 71, n. 3, p. 1421-1427, Mar. 1992
- Sul, Y. T. The significance of the surface properties of oxidized titanium to the bone response: special emphasis on potential biochemical bonding of oxidized titanium implant. **Biomaterials**, Suécia, vol. 24, n. 22, p. 3893-3907, 2003
- Suzuki, A. Effect of multiply charged ions on the refractive index of titanium oxide films and an application to decorative films. **Jpn. J. Appl. Phys**, Japón, vol. 39, p. 1295, 2000
- Takikawa, H *et al.* Properties of titanium oxide film prepared by reactive cathodic vacuum arc deposition. **Thin Solid Films**, Japón, vol. 348, p. 145-151, 1999
- Teng, K. S *et al.* Electrochemical characterization of copper deposited on plasma and thermally modified titanium surfaces. **Metallurgical and Materials Transactions B**, Japón, vol. 29, p. 749-754, ago. 1998
- Yang, C.-C *et al.* Laser-induced coloring of titanium alloy using ultraviolet nanosecond pulses scanning technology. **J ALLOY COMPD**, vol. 715, p. 349- 361, 2017

## 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)