

# Impactos das Tecnologias na Engenharia de Materiais e Metalúrgica 2

Henrique Ajuz Holzmann  
(Organizador)

# Impactos das Tecnologias na Engenharia de Materiais e Metalúrgica 2

Henrique Ajuz Holzmann  
(Organizador)

### **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  
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
Prof. Dr. Daniel Richard Sant’Ana – Universidade de Brasília  
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia  
Profª Drª 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  
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionale 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  
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Pontifícia Universidade Católica de Campinas  
Profª Drª Maria Luzia da Silva Santana – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª 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  
Profª Drª 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  
Profª Drª 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  
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná  
Profª Drª 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  
Profª Drª 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  
Profª Drª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará  
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa  
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Profª Drª Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido

Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

### **Ciências Biológicas e da Saúde**

Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas

Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Débora Luana Ribeiro Pessoa – Universidade Federal do Maranhão

Prof. Dr. Douglas Siqueira de Almeida Chaves – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Elizabeth Cordeiro Fernandes – Faculdade Integrada Medicina

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Eysler Gonçalves Maia Brasil – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira

Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia

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

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Gabriela Vieira do Amaral – Universidade de Vassouras

Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria

Prof. Dr. Helio Franklin Rodrigues de Almeida – Universidade Federal de Rondônia

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Iara Lúcia Tescarollo – Universidade São Francisco

Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande

Prof. Dr. Jefferson Thiago Souza – Universidade Estadual do Ceará

Prof. Dr. Jesus Rodrigues Lemos – Universidade Federal do Piauí

Prof. Dr. Jônatas de França Barros – Universidade Federal do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará

Prof. Dr. Luís Paulo Souza e Souza – Universidade Federal do Amazonas

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande

Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Maria Tatiane Gonçalves Sá – Universidade do Estado do Pará

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Natiéli Piovesan – Instituto Federaci do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá

Prof. Dr. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

### **Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná

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

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

Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho  
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª 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  
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

### **Linguística, Letras e Artes**

Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins  
Profª Drª Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro  
Profª Drª Carolina Fernandes da Silva Mandaji – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Profª Drª 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  
Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná  
Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará  
Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste  
Profª Drª 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. Alexsandro Teixeira Ribeiro – Centro Universitário Internacional  
Profª Ma. Aline Ferreira Antunes – Universidade Federal de Goiás  
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão  
Profª Ma. Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa  
Profª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico  
Profª Drª Andreza Miguel da Silva – Faculdade da Amazônia  
Profª Ma. Anelisa Mota Gregoleti – Universidade Estadual de Maringá  
Profª 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  
Profª 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  
Profª Ma. Lilian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará  
Profª Ma. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ  
Profª Drª 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  
Profª Ma. Luana Ferreira dos Santos – Universidade Estadual de Santa Cruz  
Profª Ma. Luana Vieira Toledo – Universidade Federal de Viçosa  
Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados  
Profª 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  
Profª Ma. Maria Elanny Damasceno Silva – Universidade Federal do Ceará  
Profª Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri  
Prof. Me. Pedro Panhoca da Silva – Universidade Presbiteriana Mackenzie  
Profª Drª 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  
Profª 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  
Profª Ma. Silene Ribeiro Miranda Barbosa – Consultoria Brasileira de Ensino, Pesquisa e Extensão  
Profª Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo  
Profª Ma. Taiane Aparecida Ribeiro Nepomoceno – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana  
Profª 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

**Editora Chefe:** Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira  
**Bibliotecária:** Janaina Ramos  
**Diagramação:** Camila Alves de Cremo  
**Correção:** Giovanna Sandrini de Azevedo  
**Edição de Arte:** Luiza Alves Batista  
**Revisão:** Os Autores  
**Organizador:** Henrique Ajuz Holzmann

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

I34 Impactos das tecnologias na engenharia de materiais e metalúrgica 2 / Organizador Henrique Ajuz Holzmann. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2021.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5706-731-4

DOI 10.22533/at.ed.314211901

1. Metalurgia. 2. Engenharia de Materiais e Metalúrgica. 3. Tecnologias. I. Holzmann, Henrique Ajuz (Organizador). II. Título.

CDD 669

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](mailto: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

No atual cenário mundial, onde se exige cada vez mais competitividade empresarial, buscar a redução de custos aliadas e a melhoria de qualidade é quase que uma exigência para se manter ativo no mercado. Desta forma a multidisciplinaridade é quase que obrigatória aos profissionais das áreas de engenharia, transitando entre conceito e prática, tendo um viés humano e técnico.

Neste sentido este livro traz capítulos ligados a teoria e prática em um caráter multidisciplinar, apresentando de maneira clara e lógica conceitos pertinentes aos profissionais das mais diversas áreas do saber. Apresenta temas relacionados a área de engenharia mecânica e materiais, dando um viés onde se faz necessária a melhoria contínua em processos, projetos e na gestão geral no setor fabril.

Destaca-se a apresentação das áreas da engenharia de materiais com o desenvolvimento e melhoria de produtos já existentes ou de novos produtos. De abordagem objetiva e prática a obra se mostra de grande relevância para graduandos, alunos de pós-graduação, docentes e profissionais, apresentando temáticas e metodologias diversificadas, em situações reais.

Aos autores, agradeço pela confiança e espírito de parceria.

Boa leitura

Henrique Ajuz Holzmann

## SUMÁRIO

### **CAPÍTULO 1..... 1**

#### **ESTUDO DA CORROSÃO DE AÇO CARBONO EM DIFERENTES MEIOS E O TRATAMENTO POR ELETRÓLISE**

Matheus Assumpção Ventura  
Lorrana Marchon Silva das Neves  
Marlon Demaur Cozine Silva

**DOI 10.22533/at.ed.3142119011**

### **CAPÍTULO 2..... 10**

#### **CORRELAÇÃO ENTRE VARIÁVEIS TÉRMICAS DE SOLIDIFICAÇÃO COM DUREZA E MICROESTRUTURA DO LATÃO $\alpha + \beta$ CU- 42% ZN**

Paulo Kazuto Suyama Junior  
Givanildo Alves dos Santos  
Francisco Yastami Nakamoto  
Márcio Rodrigues da Silva  
Vinicius Torres dos Santos  
Antonio Tadeu Rogerio Franco  
Maurício Silva Nascimento  
Antonio Augusto Couto

**DOI 10.22533/at.ed.3142119012**

### **CAPÍTULO 3..... 19**

#### **ANÁLISE DE LIGAS DE COBRE E A INFLUÊNCIA DA INSERÇÃO DE NIÓBIO: UMA REVISÃO**

Anderson do Bomfim Gonzaga  
Eduardo Palmeira da Silva  
Rogério Teram  
Maurício Silva Nascimento  
Vinicius Torres dos Santos  
Márcio Rodrigues da Silva  
Antonio Augusto Couto  
Givanildo Alves dos Santos

**DOI 10.22533/at.ed.3142119013**

### **CAPÍTULO 4..... 27**

#### **FABRICAÇÃO DE REVESTIMENTO SUPER-HIDROFÓBICO EM LIGA DE ALUMÍNIO 5052 E AVALIAÇÃO DA PROPRIEDADE DE AUTOLIMPEZA**

Wagner Daniel Oliveira de Araújo  
Rafael Gleymir Casanova da Silva  
Maria Isabel Collasius Malta  
Magda Rosângela Santos Vieira  
Severino Leopoldino Urtiga Filho

**DOI 10.22533/at.ed.3142119014**

### **CAPÍTULO 5..... 37**

#### **COMPORTAMENTO MECÂNICO EM TRAÇÃO E IMPACTO DE COMPÓSITOS DE**

## **MATRIZ POLIÉSTER REFORÇADOS COM FIBRAS DE TIMBÓ-AÇU**

José Maria Braga Pinto  
Douglas Santos Silva  
Roberto Tetsuo Fujiyama

**DOI 10.22533/at.ed.3142119015**

## **CAPÍTULO 6..... 49**

### **ROADMAP PROPOSAL: PCB AND NANOFIBERS AS STRATEGY FOR INCREASING PROCESS INTENSIFICATION**

Ana Neilde Rodrigues da Silva  
Neemias de Macedo Ferreira  
Maria Lúcia Pereira da Silva

**DOI 10.22533/at.ed.3142119016**

## **CAPÍTULO 7..... 62**

### **CERÂMICA COM ADIÇÃO DE RESÍDUO SÓLIDO: AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO MECÂNICO APÓS FORMAÇÃO DE EFLORESCÊNCIA**

Thayane Pereira da Silva  
Elias Fagury Neto  
Adriano Alves Rabelo

**DOI 10.22533/at.ed.3142119017**

## **CAPÍTULO 8..... 71**

### **SÍNTESE DE CERÂMICAS BIFÁSICAS DE FOSFATOS DE CÁLCIO PELO MÉTODO PECHINI**

Geysivana Késsya Garcia Carvalho  
José Rosa de Souza Farias  
Veruska do Nascimento Simões  
Aluska do Nascimento Simões Braga

**DOI 10.22533/at.ed.3142119018**

## **CAPÍTULO 9..... 82**

### **SÍNTESE E CARACTERIZAÇÃO DO ALUMINATO DE ESTRÔNCIO DOPADO COM TÉRPIO ATRAVÉS DO MÉTODO DE POLIMERIZAÇÃO POR EMULSÃO REVERSA E A INFLUÊNCIA DO PH NO POLIMORFISMO**

Talyta Silva Prado  
Paulo Neilson Marques dos Anjos

**DOI 10.22533/at.ed.3142119019**

## **CAPÍTULO 10..... 97**

### **ESTUDO DA ÁREA SUPERFICIAL DA PALIGORSKITA: REVISÃO**

Gilsiane Costa Spíndola  
Érico Rodrigues Gomes  
Gilvan Moreira da Paz  
Jaciel Cleison Pereira dos Santos  
Herivelton de Araujo Rodrigues

**DOI 10.22533/at.ed.31421190110**

<b>CAPÍTULO 11</b> .....	<b>107</b>
<b>USO DE PÓ DE ROCHAS SILICÁTICAS COMO FONTE DE NUTRIENTES PARA SOLOS DA AGRICULTURA: REVISÃO</b>	
Vanessa Ribeiro Castro	
Leandro Josuel da Costa Santos	
Érico Rodrigues Gomes	
<b>DOI 10.22533/at.ed.31421190111</b>	
<b>CAPÍTULO 12</b> .....	<b>119</b>
<b>A INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA NO RENDIMENTO EM MÓDULOS FOTOVOLTAICOS COMERCIAIS – REVISÃO</b>	
Gustavo Neves Margarido	
Federico Bernardino Morante Trigoso	
Carlos Frajuca	
<b>DOI 10.22533/at.ed.31421190112</b>	
<b>CAPÍTULO 13</b> .....	<b>122</b>
<b>BIOMATERIAIS COMO PRECURSORES DE CARBONOS POROSOS ATIVADOS PARA APLICAÇÃO EM SUPERCAPACITORES – REVISÃO</b>	
Alexandre da Silva Sales	
Érico Rodrigues Gomes	
Gilvan Moreira da Paz	
<b>DOI 10.22533/at.ed.31421190113</b>	
<b>CAPÍTULO 14</b> .....	<b>135</b>
<b>TRANSISTOR DE FILME FINO ORGÂNICO <i>BOTTOM GATE – BOTTOM CONTACT</i> PARA ANÁLISE DE QUALIDADE DA ÁGUA</b>	
José Enrique Eirez Izquierdo	
Marco Roberto Cavallari	
Dennis Cabrera García	
Loren Mora Pastrana	
Marcelo Goncalves Honnicke	
Fernando Josepetti Fonseca	
<b>DOI 10.22533/at.ed.31421190114</b>	
<b>SOBRE O ORGANIZADOR</b> .....	<b>148</b>
<b>ÍNDICE REMISSIVO</b> .....	<b>149</b>

# CAPÍTULO 14

## TRANSISTOR DE FILME FINO ORGÂNICO *BOTTOM GATE – BOTTOM CONTACT* PARA ANÁLISE DE QUALIDADE DA ÁGUA

Data de aceite: 04/01/2021

Data de submissão: 06/11/2020

### **José Enrique Eirez Izquierdo**

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP), Departamento de Engenharia de Sistemas Eletrônicos (PSI)  
São Paulo – SP  
<http://lattes.cnpq.br/4555887959987209>

### **Marco Roberto Cavallari**

Universidade Federal da Integração Latino-Americana (UNILA), Engenharia de Energia  
Foz do Iguaçu – PR  
<http://lattes.cnpq.br/9041429608835546>

### **Dennis Cabrera García**

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP), Departamento de Engenharia de Sistemas Eletrônicos (PSI)  
São Paulo – SP  
<http://lattes.cnpq.br/0568444732393860>

### **Loren Mora Pastrana**

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP), Departamento de Engenharia de Sistemas Eletrônicos (PSI)  
São Paulo – SP  
<http://lattes.cnpq.br/1890190411579836>

### **Marcelo Goncalves Honnicke**

Universidade Federal da Integração Latino-Americana (UNILA), Instituto Latino-Americano de Ciências da Vida e da Natureza (ILACVN)  
Foz do Iguaçu – PR  
<http://lattes.cnpq.br/9110318808152531>

### **Fernando Josepetti Fonseca**

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP), Departamento de Engenharia de Sistemas Eletrônicos (PSI)  
São Paulo – SP  
<http://lattes.cnpq.br/6830993024983648>

**RESUMO:** A habitação irregular e, conseqüentemente, o despejo de esgoto em reservatórios de água do estado de São Paulo acarretam a proliferação de algas. Após sua decomposição, estas liberam substâncias que causam sabor e odor à água. Dentre as possíveis soluções para sua detecção, destacam-se dispositivos eletrônicos a partir de semicondutores orgânicos. Ultimamente, uma grande variedade de materiais orgânicos tem sido sintetizada visando melhorar o desempenho dos dispositivos eletrônicos. Esta eletrônica de baixo custo e grandes áreas possui os recursos necessários para aplicação em sensores. Dentre os materiais orgânicos processados por solução, destacam-se o semicondutor PBTTT e o dielétrico PVP. Ambos já foram utilizados na fabricação de transistores de filmes finos (TFTs) com elevada mobilidade dos portadores de carga. Geralmente, depositados por spin coating para obtenção de filmes finos. Nesse contexto, este trabalho teve por objetivo o desenvolvimento de TFTs de PBTTT para análise de água da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP). Estudos estruturais e morfológicos foram realizados com o objetivo de reticular o dielétrico e melhorar os parâmetros elétricos de TFTs *bottom gate bottom contact* para, enfim,

permitir a detecção de álcoois.

**PALAVRAS-CHAVE:** PBTTT-C14, morfologia, terraços, OTFT, sensores.

## BOTTOM GATE POLYMER FIELD EFFECT TRANSISTOR FOR WATER QUALITY ASSESSMENT

**ABSTRACT:** Irregular housing and, consequently, the discharge of sewage in water reservoirs in the state of São Paulo lead to algae proliferation. After their decomposition, they release substances that cause flavor and odor to the water. Among the possible solutions for its detection, electronic devices from organic semiconductors stand out. Lately, a wide variety of organic materials have been synthesized to improve the performance of electronic devices. This low cost and large area electronics has the necessary resources for application in sensors. Among the organic materials processed by solution, the semiconductor PBTTT and the dielectric PVP stand out. Both have already been used in the manufacture of thin film transistors (TFTs) with high mobility of charge carriers. Generally, deposited by spin coating to obtain thin films. In this context, this work aimed to develop PBTTT TFTs for water analysis by the Basic Sanitation Company of the State of São Paulo (SABESP). Structural and morphological studies were carried out with the objective of crosslinking the dielectric and improving the electrical parameters of bottom gate bottom contact TFTs to, finally, allow the detection of alcohols.

**KEYWORDS:** PBTTT-C14, *morphology, terraces, OTFT, sensors.*

### 1 | INTRODUÇÃO

Dispositivos eletrônicos a partir de materiais orgânicos apresentam potencial transparência ótica, flexibilidade mecânica, processamento em grandes superfícies e baixo custo [1]. Transistores de filmes finos orgânicos (OTFTs) com estrutura *bottom-gate/bottom-contact* da Figura 1 são desejáveis para aplicação em sensores, visto que expõem o semicondutor aos analitos gasosos que se deseja detectar. Embora em detrimento de sua flexibilidade mecânica, OTFTs são frequentemente processados sobre silício altamente dopado ou vidro. O primeiro material para substrato vem, geralmente, acompanhado de um óxido de porta ( $\text{SiO}_2$ ). Este dielétrico apresenta uma superfície lisa (rugosidade *Root Mean Square* ou RMS de 0,2 nm), baixa corrente de fuga ( $\sim 10 \text{ nA/cm}^2$  a 0,2 MV/cm), e um campo elétrico de ruptura superior a 10 MV/cm [2, 3]. Além disso, suporta processos fotolitográficos para definição dos eletrodos de fonte e dreno, assim como a deposição do semicondutor. Este óxido, no entanto, é frágil, translúcido, caro e crescido acima de 1000 °C [2].

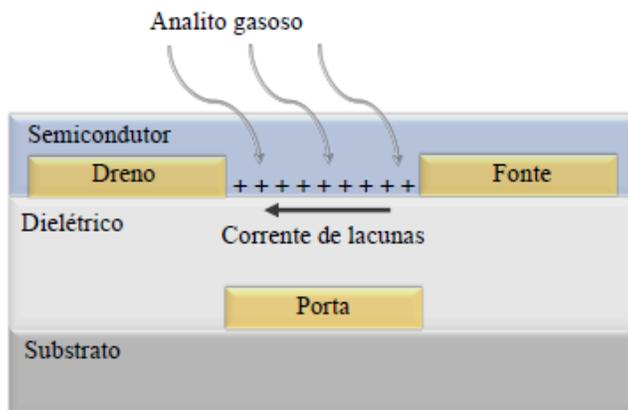


Figura 1. Diagrama esquemático de um OTFT *bottom gate/bottom contact* como sensor de gás.

Deve-se levar em conta também que este substrato dopado atua como eletrodo de porta comum para todos os transistores da pastilha. Adicionalmente, uma monocamada automontada (SAM) é necessária para diminuir o aprisionamento de portadores de carga e, conseqüentemente, aumentar a mobilidade efetiva no canal semicondutor [4, 5]. Um substrato de vidro, por sua vez, necessita de um filme dielétrico alternativo. Além da busca por novos materiais, alguns dos desafios persistem, tais como possuir resistência química aos processos de gravação dos eletrodos e formação do filme semicondutor, oferecendo interfaces com baixa densidade de armadilhas e de baixa resistência série [5].

Em trabalhos anteriores, observou-se que derivados de politiofeno são excelentes candidatos para a fabricação de narizes eletrônicos [6, 7]. Em 2015, Cavallari *et al.* investigaram os efeitos de estresse por polarização em OTFTs de poli(3-hexitiofeno) (P3HT) [6]. No entanto, o canal semicondutor estava encapsulado pelo dielétrico de poli(metil metacrilato) (PMMA) e o eletrodo de porta em uma estrutura *top-gate/bottom-contact*. Apesar da baixa histerese e elevada estabilidade, uma estrutura *bottom gate* era necessária para o desenvolvimento de sensores de gás. Em um trabalho contemporâneo, foram demonstrados OTFTs de P3HT funcionando a 1 V sobre Si para o diagnóstico não-invasivo de doenças em estágio inicial (*e.g.* patologias relacionadas a fígado e rins), além do monitoramento do ar em ambientes fechados (*e.g.* granjas) [7]. Cabe ressaltar que a exposição a O<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>O presentes na atmosfera acarreta preocupações adicionais relacionadas ao estresse por polarização elétrica e à degradação química do semicondutor [6]. Finalmente, a substituição do óxido de silício para aplicação em sensores só foi obtida posteriormente, a partir da reticulação do dielétrico polimérico [8, 9].

Neste contexto, este trabalho teve por foco o desenvolvimento de sensores de gás a partir de transistores de politiofeno para análise de água fornecida pela Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP). A detecção de álcoois representa

mais um passo na construção de um nariz eletrônico capaz de detectar metilisoborneol (MIB) e geosmina (GEO). Tais substâncias são consideradas as principais responsáveis pelo sabor e odor desagradáveis da água para abastecimento urbano [10].

## 2 | MATERIAIS E MÉTODOS

Nos substratos de vidro, foi feita uma limpeza padrão mergulhando-os em banho ultrassônico em água deionizada (DI) por 10 minutos. Na sequência, fervura em acetona (ACE), novamente água DI e, finalmente, em álcool isopropílico (IPA), ambas durante 10 minutos.

O dielétrico orgânico *poly(4-vinylphenol)* (PVP,  $M_w = 25$  kg/mol, *Sigma Aldrich*) foi reticulado com *poly(melamine-co-formaldehyde) methylated* (PMF,  $M_n \sim 432$ , 84 wt % em 1-butanol, *Sigma Aldrich*) em proporções de 1:0, 1:1 e 1:5. Os polímeros foram dissolvidos em PGMEA (*Propylene glycol methyl ether acetate*,  $M_n = 132,16$  g / mol, 99,5%, *Sigma Aldrich*) em concentrações de 6,4 (1:0) e 16 (1:1 e 1:5) wt. % para serem depositados por *spin coating* (P- 6000, SCS Inc.) de 1000 a 4000 rpm / 60 s. Os filmes foram então secos a 100 °C / 10 min e reticulados a 175 °C / 120 min sobre uma placa quente (*hotplate*). No OTFT, empregou-se PVP:PMF a 1:5 e 16,4 wt. % para formar um filme a 2000 rpm por 60 s de espessura igual a 346 nm.

Eletrodos de Au com 95 nm de espessura foram depositados por *sputtering DC* (BAE 370, Balzers, EUA). Um filme de Ni:Cr com espessura igual a 5 nm foi necessário para aumentar a aderência do ouro sobre o substrato e o dielétrico orgânico. Todos os contatos foram definidos por fotolitografia, seguida de corrosão. Para tal, depositou-se AZ1518 (1,2  $\mu\text{m}$ , fotoresiste positivo, Clariant, NJ, EUA) por *spin coating* a 3000 rpm por 30 s. Após *pre-baking* a 80°C por 20 min, expôs-se as amostras através de uma fotomáscara de vidro/Cr a uma lâmpada UV de mercúrio (350 W) por 6 s em uma fotoalinhadora Karl Suss KG. A revelação foi realizada por imersão em AZ35 e água DI a 1:5 por 30 s. Finalmente, o *post-baking* foi a 100°C por 30 min. Filmes de Au foram corroídos em banho de iodeto de potássio (KI) e iodo ( $\text{I}_2$ ) em água DI a 1  $\mu\text{m}/\text{min}$  e 30°C por 5 s. Filmes de Ni:Cr foram corroídos em nitrato cério (IV) amoniacal ( $\text{Ce}(\text{NH}_4)_2(\text{NO}_3)_6$ ) em ácido perclórico ( $\text{HClO}_4$ ) e água DI a 60 nm/min e ca. 27°C por 10 s. O fotoresiste foi removido em solventes orgânicos, assim como na limpeza inicial. A máscara possui 8 OTFTs em uma área de 2,5x2,5  $\text{cm}^2$  com largura ( $W$ ) de 300 mm e comprimentos ( $L$ ) de 4 a 20  $\mu\text{m}$ .

Filmes de PBTTC-14 (*poly(2,5-bis(3-tetradecyl-thiophen-2-yl)thieno[3,2-b]thiophene)*,  $M_n = 50$  kg/mol, PD = 3, *Product Number: 753971*, *Sigma Aldrich*) foram processados a partir de uma solução de 6 mg/mL em 1,2-dichlorobenzene (DCB,  $M_n = 147$  kg/mol, HPLC, 99 %, *Product Number: 240664*, *Sigma Aldrich*), após agitação com barra magnética *overnight* e sem aquecimento. Por aproximadamente 1 h antes da deposição, esta solução foi aquecida a 100 °C, sem filtragem e depositada por *spin coating* a 600 rpm /

60 s. O filme obtido foi então tratado termicamente a 150 °C / 20 min sobre *hotplate* dentro de *glove box* em N<sub>2</sub>.

Filmes orgânicos dielétricos foram estudados por espectroscopias Raman e de infravermelho (FTIR, *BIO-RAD QS-300 FTS-40*). Por sua vez, filmes orgânicos semicondutores foram investigados por espectrofotometria UV-visível (UV-vis, SHIMADZU UV-1650 PC), espectroscopia Raman (*Confocal Raman Microscope Alpha300 R*), microscopia de força atômica (MFA, *BRUKER NanoScope® V ScanAsyst*, área de 2x2 μm<sup>2</sup>) e difração de raios X (DRX, SHIMADZU XRD 6000).

Curvas de corrente vs. tensão (*IxV*) e capacitância vs. tensão (*CxV*, 1 kHz e ± 1 V) foram obtidas a partir de um analisador de parâmetros semicondutores B1500A Keysight. A tensão de ruptura (*E<sub>bd</sub>*) e a densidade de corrente de fuga (*J<sub>leakage</sub>*) foram extraídas a partir das curvas *IxV* de capacitores. A constante dielétrica (*k*) foi calculada a partir do modelo do capacitor de placas paralelas aplicado às curvas *CxV*:

$$C = \frac{\epsilon_0 * k * A}{d} \quad (3),$$

onde ε<sub>0</sub> é a permissividade do vácuo, *A* a área das placas paralelas do capacitor e *d* a distância de separação das mesmas.

OTFTs foram estudados para de suas curvas *IxV*. A modulação de corrente (*I<sub>ON</sub>*/*I<sub>OFF</sub>*) foi definida como a razão entre o máximo (*I<sub>ON</sub>*) e o mínimo (*I<sub>OFF</sub>*) de corrente no canal. Empregou-se o método do valor máximo da transcondutância *g<sub>m,máx</sub>* no gráfico de *g<sub>m</sub>* vs. *V<sub>GS</sub>* com *V<sub>DS</sub>* = -1 V para o cálculo da mobilidade dos portadores na região triodo, denominada μ<sub>p,TRI</sub> [cm<sup>2</sup> / Vs]:

$$\mu_{p,TRI} = \frac{g_m}{C_{ox} * \frac{W}{L} * V_{DS}} \quad (1),$$

onde *g<sub>m,máx</sub>* é a transcondutância máxima (extraída da curva transferencial) [A / V], *C<sub>ox</sub>* a capacitância do dielétrico de porta por unidade de área [F / cm<sup>2</sup>], *W* a largura do canal [μm], *L* o comprimento do canal [μm], *V<sub>DS</sub>* a tensão entre os eletrodos de dreno e fonte [V] e *V<sub>GS</sub>* a tensão entre os eletrodos de porta e fonte [V]. Empregou-se o método da segunda derivada de *I<sub>DS</sub>* por *V<sub>GS</sub>* com *V<sub>DS</sub>* = -1 V para o cálculo da tensão de limiar (*V<sub>T</sub>*), onde *I<sub>DS</sub>* é a corrente entre os eletrodos de dreno e fonte [A]. *V<sub>T</sub>* correspondeu ao valor mínimo da segunda derivada neste gráfico. A inclinação da região de sublimiar *SS* [V / dec] foi igual ao valor máximo da derivada de inclinação de *V<sub>GS</sub>* em relação ao log<sub>10</sub> | *I<sub>DS</sub>* | com *V<sub>GS</sub>* < *V<sub>T</sub>* e *V<sub>DS</sub>* = -1 V.

O aparato experimental para caracterização de sensores de gases era composto de uma câmara, um multiplexador, um analisador de parâmetros, rotâmetros, regulador de pressão, um misturador de gases, sensores de temperatura e umidade relativa (UR),

além de um cilindro de  $N_2$  seco (alta pureza, Praxair). O analito aquoso em um borbulhador foi arrastado por um fluxo de  $N_2$  para dentro da câmara. Um fluxo secundário de  $N_2$  seco foi empregado para ajustar a UR. Solventes orgânicos foram dissolvidos a 10 ppm em água DI e arrastados para a câmara a 15 % de UR: metanol (MET, 0,79 g/mL, 99 %, Casa Americana, São Paulo, Brasil), etanol (ETA, 0,789 g/mL, 99,5 %, Aldrich), isopropanol (IPA, 0,785 g/mL, 99,7 %, Aldrich) e isoborneol (IB, 93 %, ACROS Organics, NJ, EUA). A resposta dos sensores foi monitorada através da corrente média em triodo para  $V_{DS} = -0.5$  V e  $V_{GS}$  de 1 a -1 V.  $\Delta X/X_0$  foi definido como a variação relativa e normalizada do parâmetro  $X$  ( $\mu$ ,  $V_T$  e  $I_{ON}$ ) em relação ao valor inicial ( $X_0$ ). Devido ao curto intervalo de varredura de  $V_{GS}$ ,  $V_T$  foi aproximado pelo intercepto da aproximação linear de  $I_{DS}$  vs.  $V_{GS}$  com o eixo x.

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Inicialmente, foram realizadas análises morfológicas, estruturais e superficiais de filmes semicondutores. Através de análise UV-vis, obteve-se um pico de absorbância máxima em 552 nm (ver Figura 2).

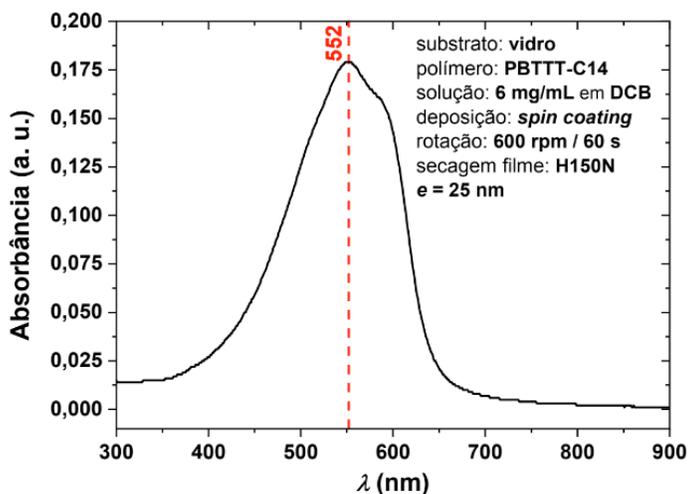


Figura 2. Espectro de absorbância vs. lambda para filmes de PBTTT-C14.

O segundo pico à direita do principal em ~585 nm, conhecido como ombro (ou *shoulder* em inglês), serviu de indicativo de uma estrutura molecular bem arranjada e da formação de terraços. Essas características estão de acordo com a literatura [11]. Os valores de espessura e rugosidade RMS obtidos por MFA após secagem em *hotplate* a 150 °C (H150N) foram de 22 nm e 1,1 nm, respectivamente (ver Figura 3). São visíveis os terraços na superfície, reafirmando os resultados de UV-vis para este filme. Maiores detalhes sobre

espessura e rugosidade em função da secagem podem ser encontrados em [12].

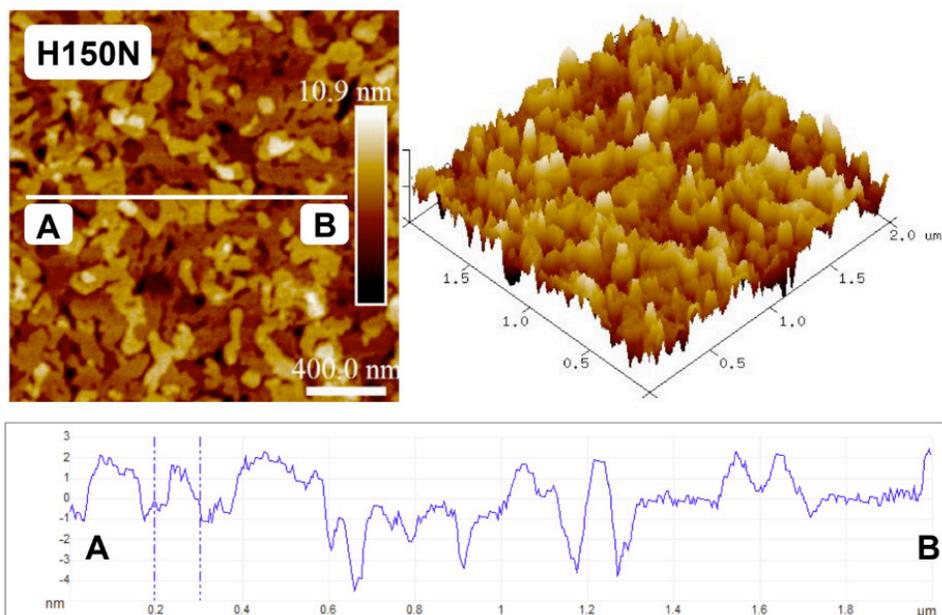


Figura 3. Micrografos de MFA da superfície de um filme de PBTTT-C14.

A partir do estudo de difração de raios X da Figura 4, foi possível obter uma distância entre planos (*d-spacing* em inglês) de  $\sim 2,22$  nm ( $2\theta \sim 4^\circ$ ). Estes resultados também estão de acordo com a formação de terraços [11, 12].

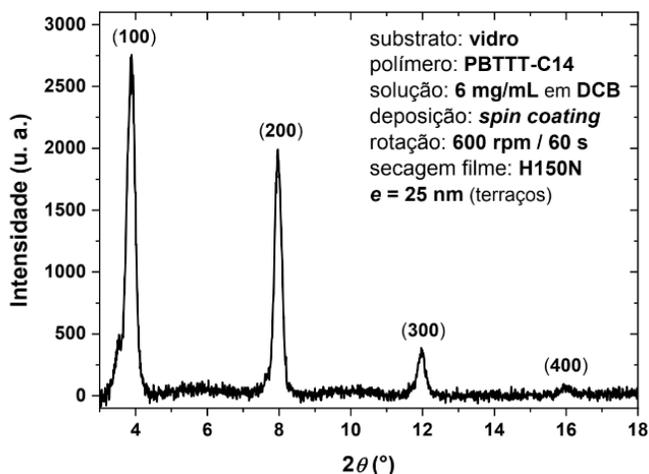


Figura 4. Espectro DRX para um filme de PBTTT-C14.

A espectroscopia Raman da Figura 5 apresentou bandas em 1489 e 1394  $\text{cm}^{-1}$ , associadas com vibrações de alongamento (do inglês *stretching vibrations*) das ligações C=C e C-C no anel de tiofeno, respectivamente. Também foi visível uma banda em 1411  $\text{cm}^{-1}$  atribuída ao alongamento de ligações C=C do anel tienotiofeno. Estes resultados estão de acordo com [13].

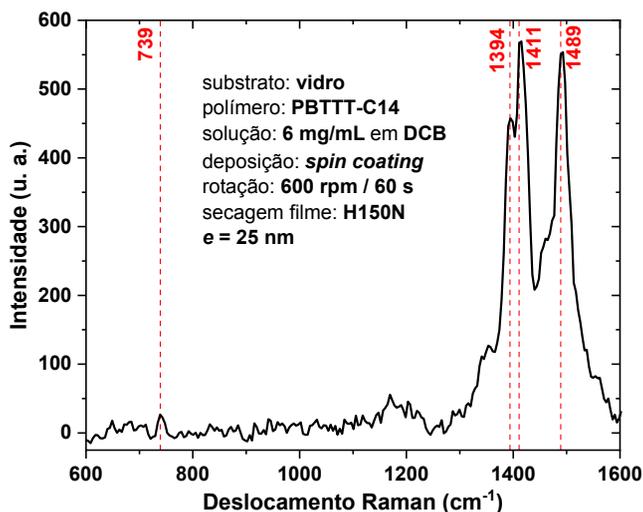


Figura 5. Espectroscopia Raman para um filme de PBTTT-C14.

Após validação do semicondutor orgânico PBTTT-C14, foi necessário o desenvolvimento de um dielétrico de porta reticulado (*crosslinked* em inglês) que garantisse o melhor desempenho elétrico dos OTFTs. Além disso, era necessário suportar a fotogração dos eletrodos e a deposição do filme semicondutor. De acordo com os resultados de FTIR na Figura 6, filmes de PVP:PMF na proporção de 1:1 apresentaram uma forte presença de uma banda em 1481  $\text{cm}^{-1}$  atribuída aos grupos  $\text{CH}_2$  e  $\text{CH}_3$  [14], bem como bandas em 2960 e 3410  $\text{cm}^{-1}$  atribuídas à vibração de alongamento dos grupos CH e OH, respectivamente [15, 16]. Essas bandas tendem a diminuir e, em alguns casos, desaparecer com o aumento da proporção de PMF. Esses resultados apontam, portanto, para uma reticulação mais pronunciada na proporção de 1:5. Vale a pena ressaltar que, embora a reação química com PMF seja conhecida para o PVP [17], o resultado apresentado valida o processo empregado para reticulação do dielétrico [18].

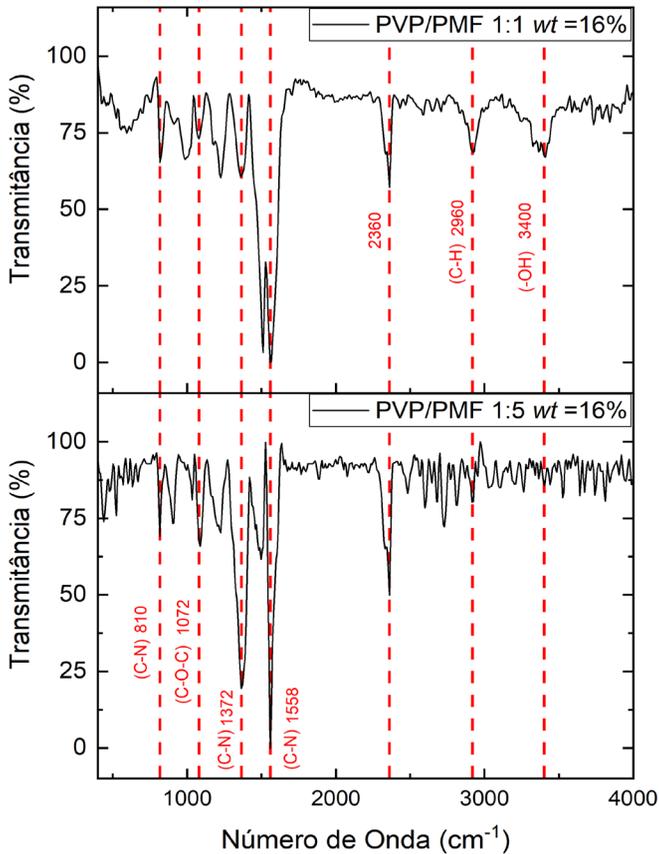


Figura 6. Espectroscopia FTIR para filmes de PVP:PMF.

As bandas típicas, no espectro Raman, das moléculas de PVP estão em  $840\text{ cm}^{-1}$ , devido à deformação C–H fora do plano, e  $1614\text{ cm}^{-1}$  relacionadas a ligações C–C no grupo fenil [19]. Ao aumentar a concentração de PMF em relação ao PVP, a intensidade da banda em  $1614\text{ cm}^{-1}$  aumenta devido aos grupos C–N do anel de triazina no PMF [14]. Além disso, há um aumento das bandas em  $1265$  e  $1452\text{ cm}^{-1}$  relacionadas aos grupos C–O–C [23, 24] e C–N [14, 20], respectivamente. Mais detalhes sobre este estudo podem ser encontrados em [18]. Assim como para FTIR, observa-se maior reticulação para proporções mássicas de PMF na solução maiores.

A reticulação demonstrada permitiu a fabricação de TFTs com eletrodos sob o semicondutor. Na Figura 7 são apresentadas as curvas transcaracterísticas e de saída dos OTFTs fabricados com o polímero semicondutor PBTTT-C14 ( $e \sim 25\text{ nm}$ ) como camada ativa e PVP (PVP:PMF (1:5) com  $x_{\text{ox}} \sim 346\text{ nm}$ ) reticulado como dielétrico de porta.

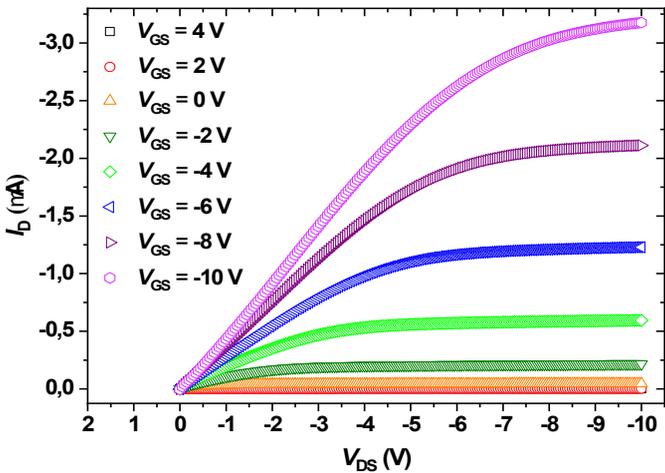
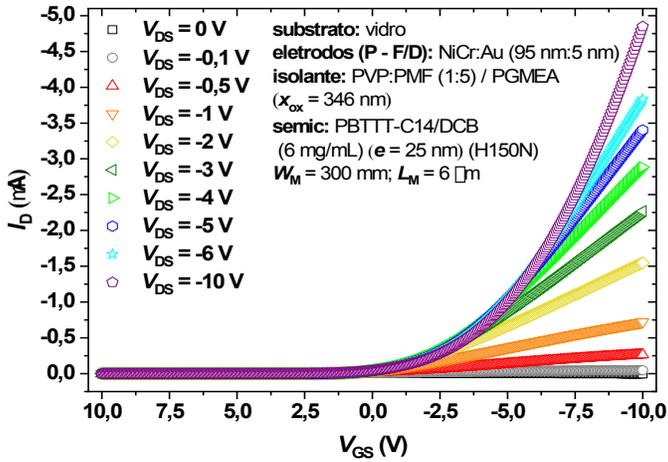


Figura 7. Curvas de  $I_xV$  de OTFTs com PBTTC-14 e PVP:PMF.

Os parâmetros elétricos extraídos a partir da caracterização elétrica dos OTFTs foram:

- capacitância por unidade de área de  $32 \text{ F/cm}^2$ ;
- constante dielétrica de 4,9;
- corrente de fuga de  $400 \text{ nA/cm}^2 @ 0,05 \text{ MV/cm}$ ;
- $V_T = 0,8 \text{ V}$ ;
- $\mu_{p,TRI} = 1,21 \times 10^{-4} \text{ cm}^2 / \text{Vs}$ ;
- $I_{ON/OFF} = 29573$ ; e

- $SS = -0,8$  V/dec.

A variação relativa e normalizada dos parâmetros elétricos de OTFTs em resposta a 10 ppm de álcool são apresentados na Figura 8. O dispositivo apresenta uma resposta superior a 40 % para  $\mu$  em metanol e 20 % para  $I_{ON}$  e  $V_T$  em isoborneol. A grande maioria dos artigos sobre OTFTs de politiofeno na literatura focaram na sensibilidade a compostos nitrogenados (*e.g.* amônia e óxido nitroso) [21]. Neste trabalho, demonstrou-se que tais dispositivos apresentam potencial para detectar níveis inferiores a 1 ppm em água DI.

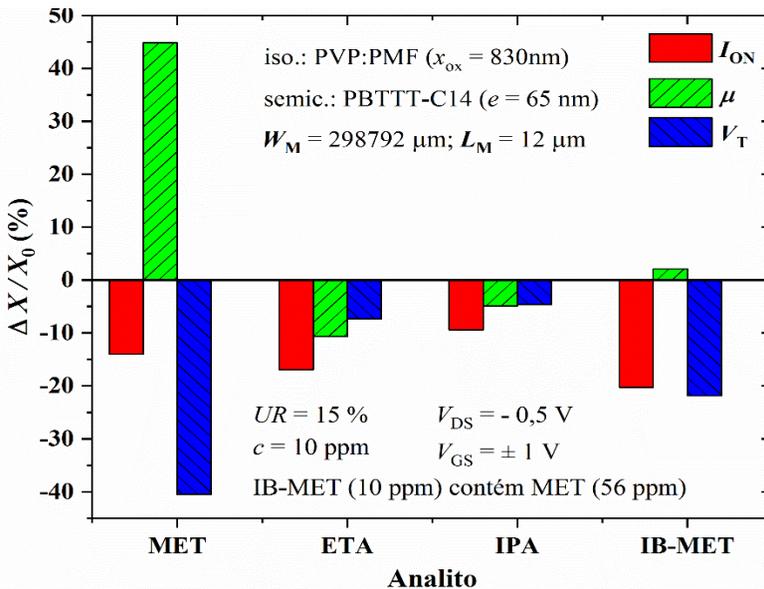


Figura 8. Resposta dos sensores de gás a 10 ppm de álcoois.

## 4 | CONCLUSÕES

Obtiveram-se estruturas em forma de terraços para o filme semiconductor, um indicativo de elevada mobilidade efetiva dos portadores de carga. Estudos de difração de raios-X confirmaram a presença de cristalinidade nos filmes de PBTTT-C14. Demonstrou-se através de estudos de UV-vis e Raman que os filmes obtidos apresentam uma estrutura molecular bem arranjada e que o tratamento térmico praticado foi eficiente, sem provocar nenhuma degradação química nestes.

A reticulação do dielétrico, verificada por espectroscopias FTIR e Raman, permitiu a fabricação de TFTs bottom gate bottom contact. PBTTT-C14, em conjunto com PVP, foram demonstrados sensíveis a álcoois para análise de água. Apesar da presença de uma ramificação a mais em relação a um dos analitos empregados neste trabalho, metilisoborneol é justamente um dos principais compostos liberados durante a decomposição das algas,

responsáveis pelo gosto e odor à água tratada.

## REFERÊNCIAS

- [1] Yun, H.J., et al. **Additive effect of poly(4-vinylphenol) gate dielectric in organic thin film transistor at low temperature process**. J Nanosci Nanotechnol, v. 13, n. 5, p. 3313-3316, 2013..
- [2] Carim, A. and A. Bhattacharyya. **Si/SiO<sub>2</sub> interface roughness: structural observations and electrical consequences**. Applied Physics Letters, v. 46, n. 9, p. 872-874, 1985.
- [3] Zhang, G., et al. **Modification of polymer gate dielectrics for organic thin-film transistor from inkjet printing**. Applied Physics A, v. 124, n. 7, p. 481, 2018.
- [4] Lafkioti, M., et al. **Graphene on a hydrophobic substrate: doping reduction and hysteresis suppression under ambient conditions**. Nano Letters, v. 10, n. 4, p. 1149-1153, 2010.
- [5] Zhang, X., et al. **Ultrasensitive Field-Effect Biosensors Enabled by the Unique Electronic Properties of Graphene**. Small, v. 16, n. 15, p. 1902820, 2020.
- [6] Cavallari, M.R., et al. **On the performance degradation of poly(3-hexylthiophene) field-effect transistors**. IEEE Transactions on Device and Materials Reliability, v. 5, n. 3, p. 342–351, 2015.
- [7] Cavallari, M.R., et al. **Enhanced sensitivity of gas sensor based on poly(3-hexylthiophene) thin-film transistors for disease diagnosis and environment monitoring**. Sensors, v. 15, n. 4, p. 9592–9609, 2015.
- [8] M.R. Cavallari et al., “**Cross-linked polyvinyl phenol as dielectric for flexible bottom gate bottom contact transistors**,” in 4th Symposium on Microelectronics Technology and Devices (SBMicro), 2019, IEEE, pp. 1-3.
- [9] García, D.C., et al. **Organic Dielectric Films for Flexible Transistors as Gas Sensors**. Journal of Integrated Circuits and Systems, v. 15, n. 2, p. 1-7, 2020.
- [10] de Souza Braga, G., L. Giordano Paterno, and F. Josepetti Fonseca. **Performance of an electronic tongue during monitoring 2-methylisoborneol and geosmin in water samples**. Sensors and Actuators B: Chemical, v. 171–172, n. –, p. 181–189, 2012.
- [11] PANDEY, M., et al. **Rapid formation and macroscopic self-assembly of liquid-crystalline, high-mobility, semiconducting thienothiophene**. Advanced Materials Interfaces, v. 5, n. 6, p. 1700875, 2018.
- [12] Eirez Izquierdo, J.E., M.R. Cavallari, and F.J. Fonseca. **Estudo de superfície e morfológico de filmes finos baseados no polímero semicondutor conjugado PBTTT-C14**, in Ciência e Tecnologia: Estudos sobre as Propriedades, Processamento e Produção de Materiais, E. Artemis, Editor. 2020: Brasil. p. 62-74.
- [13] FURUKAWA, Y., et al. **Raman spectra of carriers in ionic-liquid-gated transistors fabricated with poly(2,5-bis(3-tetradecylthiophen-2-yl)thieno[3,2-b]thiophene)**. Vibrational Spectroscopy, v. 85, p. 29-34, 2016.

- [14] P. J. Larkin, M.P. Makowski, N.B. Colthup, and L.A. Flood, "**Vibrational analysis of some important group frequencies of melamine derivatives containing methoxymethyl, and carbamate substituents: mechanical coupling of substituent vibrations with triazine ring modes,**" *Vibrational Spectroscopy*, v. 17, n. 1, p. 53-72, 1998.
- [15] S. C. Lim et al., "**Hysteresis of pentacene thin-film transistors and inverters with cross-linked poly (4-vinylphenol) gate dielectrics,**" *Applied Physics Letters*, v. 90, n. 17, p. 173512, 2007.
- [16] Choe, Y.-S., et al. **Crosslinked polymer-mixture gate insulator for high-performance organic thin-film transistors.** *Organic Electronics*, v. 36, p. 171-176, 2016.
- [17] Tozlu, C. and A. Mutlu. **Poly(melamine-co-formaldehyde) methylated effect on the interface states of metal/polymer/p-Si Schottky barrier diode.** *Synthetic Metals*, v. 211, p. 99-106, 2016.
- [18] García, D.C., et al. **Organic Dielectric Films for Flexible Transistors as Gas Sensors.** *Journal of Integrated Circuits and Systems*, v. 15, n. 2, p. 1-7, 2020.
- [19] Y. Ren et al., "**Two-dimensional Fourier-transform-Raman and nearinfrared correlation spectroscopy studies of poly (methyl methacrylate) blends: 2. Partially miscible blends of poly (methyl methacrylate) and poly (4-vinylphenol),**" *Vibrational Spectroscopy*, v. 23, n. 2, p. 207-218, 2000.
- [20] D. Lin-Vien, N.B. Colthup, W.G. Fateley, and J.G. Grasselli, "**Triazine [1,3,5],**" in *The handbook of infrared and Raman characteristic frequencies of organic molecules*, Elsevier, San Diego, 1991, p. 300-302.
- [21] Singh, A.K., A. Pandey, and P. Chakrabarti. **Poly[2,5-bis(3-tetradecylthiophen-2-yl) thieno [3,2-b] thiophene] Organic Polymer Based-Interdigitated Channel Enabled Thin Film Transistor for Detection of Selective Low ppm Ammonia Sensing at 25°C.** *IEEE Sensors Journal*, v. 20, n. 8, p. 4047-4055, 2020.

## **SOBRE O ORGANIZADOR**

**HENRIQUE AJUZ HOLZMANN** - Professor da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Graduação em Tecnologia em Fabricação Mecânica e Engenharia Mecânica pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Mestre em Engenharia de Produção pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Doutorando em Engenharia e Ciência dos Materiais pela Universidade Estadual de Ponta Grossa. Trabalha com os temas: Revestimentos resistentes a corrosão, Soldagem e Caracterização de revestimentos soldados.

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Aço carbono 1, 2, 3, 5, 6  
Aluminatos 82, 84, 90, 91, 92, 93, 94, 95  
Ângulo de contato 27, 28, 32, 33  
Ângulo de deslizamento 27, 28, 33  
Autolimpeza 27, 28, 29, 33, 34

### B

Biocerâmicas 71, 74  
Biomateriais 71, 72, 73, 122, 125, 130, 131

### C

Carbono poroso 122, 123, 124, 125, 126, 127, 128, 129  
Cobre 11, 12, 13, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 119, 121, 125  
Compósitos poliméricos 37, 38, 39, 40, 44, 47  
Corrosão 1, 2, 6, 7, 9, 11, 20, 21, 22, 26, 28, 125, 138, 148  
Cultivo 116

### D

Descorantes 104  
Dureza 10, 11, 13, 15, 16, 17, 26, 66

### E

Eletrodo 122, 123, 124, 127, 137  
Eletrofiação 49  
Estrôncio 82, 83, 84, 85, 87, 89, 90, 91, 94, 95

### F

Fertilizantes 107, 108, 110, 111, 112, 114, 115, 116, 117  
Fibras de timbó-açu 37, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47

### I

Intensificação de processos 49

### L

Latão 10, 11, 12, 13, 18  
Liga de alumínio 27, 28, 29, 31, 32, 34

Luminescência 82, 83, 95

## **M**

Microestrutura 10, 11, 12, 13, 17, 18, 19, 21, 24, 25, 26, 67, 68

Morfologia 28, 29, 30, 31, 32, 34, 47, 74, 92, 98, 136

## **N**

Nióbio 19, 21, 22, 23, 24, 25, 26

## **O**

OTFT 136, 137, 138

## **P**

Paligorskita 97, 98, 101, 102, 103

PBTTT-C14 136, 138, 140, 141, 142, 143, 144, 145, 146

PCI 49

Pechini 71, 72, 74, 79, 80, 84

Pó de despoejamento 62, 63, 64, 69, 70

Porosidade 62, 63, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 100, 123

Processo de fabricação 3, 19

Propriedades 11, 13, 18, 19, 20, 21, 24, 25, 28, 29, 37, 38, 39, 43, 62, 63, 64, 66, 68, 69, 71, 73, 79, 84, 89, 95, 97, 98, 99, 101, 102, 103, 107, 109, 112, 113, 117, 124, 130, 146

## **R**

Remineralizantes 107

Roadmap 49, 51, 52, 53, 54, 59, 60, 61

Rochas 73, 107, 108, 109, 111, 112, 113, 114, 115, 116

## **S**

Sensores 135, 136, 137, 139, 140, 145

Silicatos 96, 98

Síntese 25, 71, 74, 77, 79, 80, 81, 82, 84, 87, 89, 94, 95, 96, 97, 100, 101, 102, 105, 122, 125, 126, 127, 128, 129, 131

Solidificação 10, 11, 13, 14, 15, 17, 18, 23, 24, 25, 26, 109

Sorção 97, 98

Supercapacitores 122, 123, 124, 131

Super-hidrofobicidade 27, 28, 29, 32, 33, 34

## **T**

Terraços 136, 140, 141, 145

Terras-raras 82, 83

# Impactos das Tecnologias na Engenharia de Materiais e Metalúrgica 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) 

# Impactos das Tecnologias na Engenharia de Materiais e Metalúrgica 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) 